

نَظِيَّةُ مَسَامِيَّةِ لِطَرَفِ



الدكتور

يوسف مصطفى صنيام

الدكتور سعد بن عبد الرحمن القاسمي

بن محمد القرني



دار الكتب

تغطية مساحية للطرق

تغطية مساحية للطرق

تأليف

الدكتور يوسف مصطفى صيدام

أستاذة المساحة - قسم الهندسة المدنية

جامعة الملك سعود - الجامعة الأردنية

الدكتور سعد بن عبد الرحمن القحطاني

أستاذة النقل المثلوث - قسم الهندسة المدنية

كلية الهندسة - جامعة الملك سعود

الدكتور عبد الله بن محمد القسوي

أستاذة المساحة المثلوث - قسم الهندسة المدنية

كلية الهندسة - جامعة الملك سعود

مجلد ١

حقوق التأليف والطبع والنشر محفوظة للناسر. ولا يجوز إعادة طبع هذا الكتاب أو أي جزء منه
على أية هيئة أو بأية وسيلة إلا بإذن كتابي من الناسر.

الطبعة الأولى

١٤٢٠ هـ - ١٩٩٩ م

رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية

(١٩٩٩ / ٦ / ١٠٨٥)

رقم التصنيف : ٦٢٥,٧:

المؤلف ومن هو في حكمه : يوسف مصطفى صيام وزملاؤه

عنوان الكتاب : تغطية مساحية للطرق

الموضوع الرئيسي : ١ - العلوم التطبيقية

٢ - هندسة الطرق

بيانات النشر : عمان / دار مجدلاوي للنشر

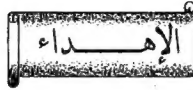
* - تم اعداد بيانات الفهرسة الأولية من قبل دائرة المكتبة الوطنية

دار مجدلاوي

عمان - الرمز البريدي: ١١١١٨ - الأردن

ص.ب: ١٨٤٢٥٧ - تلفاكس: ٤٦١١٦٠٦

(رندك) ISBN 9957-02-027-7



إلى

مدير عام "المؤسسة العالمية لصناعة وتجارة قطع الغيار"

أبراهيم ضيام

لدعمه المستمر لشئون التأليف والبحث العلمي



شكر وتقدير

يتقدم المؤلفون بوافر الشكر والعرفان إلى
جامعة الملك سعود - مركز البحوث - كلية
الهندسة التي منحتنا الدعم المناسب لطباعة
هذا الكتاب في صورته الأولى .

المؤلفون

محتويات الكتاب

الصفحة

الموضوع

الفصل الأول

1- مقدمة

- 17
19 1-1 نبذة تاريخية عن الطرق
21 2-1 شبكة الطرق في المملكة العربية السعودية
22 3-1 أهمية الطرق في مجالات التنمية الحيوية
23 4-1 مستقبل شبكات الطرق
25 5-1 التخطيط السليم للطرق ونفقات الصيانة المستقبلية
27 6-1 التخطيط السليم للطرق وتحقيق شروط السلامة المرورية
29 7-1 دور المساحة في أعمال تخطيط وتصميم الطرق
30 8-1 عرض موجز لبرامج التخطيط والدراسات الحديثة لمشاريع الطرق

الفصل الثاني

2- الاعتبارات والمراحل الأساسية في دراسة مشاريع الطرق

- 34 1-2 مقدمة
34 2-2 الاعتبارات الأساسية القديمة
35 3-2 العوامل التي أدت إلى تطور اعتبارات التصميم
35 4-2 الاعتبارات الأساسية الحديثة في تصميم المسارات
36 5-2 ضوابط ومعايير التصميم
40 6-2 المراحل الرئيسية في تصميم خطوط المسارات
40 1-6-2 مرحلة التخطيط
44 2-6-2 مرحلة تعيين الخيارات المناسبة
46 3-6-2 مرحلة المفاضلة بين خيار وآخر
47 4-6-2 مرحلة التصميم النهائي للمسار
48 7-2 دور المساحة الجوية في أعمال تخطيط وتصميم المسار
52 1-7-2 حالة عدم توفر خرائط

الفصل الثالث

3- المراحل الأساسية الرئيسية في تصميم الطرق

- 62 1-3 مقدمة
62 2-3 مرحلة الأعمال الاستطلاعية

67	3-3- مرحلة الدراسة المساحية الأولية
68	3-3-1- طريقة شبكة المثلثات
68	3-3-2- طريقة التقاطع الأمامي
70	3-3-3- طريقة التقاطع العكسي
71	3-3-4- إنشاء مضلعات ضمن شبكة نقاط المساحة المرجعية
77	3-3-5- المصحح الطبوغرافي الشامل
83	3-4- مرحلة الأعمال المساحية النهائية
83	3-4-1- نقل المسار الأمثل من المخطط إلى الطبيعة
85	3-4-1-1- نقل نقاط التقاطع
93	3-4-2- قياس زوايا التقاطع
93	3-4-3- قياس المسافات الأفقية
93	3-4-4- ربط خطوط المسار بنقاط المساحة المرجعية
94	3-4-5- اختيار العناصر الأساسية لتصميم منحنيات الربط الأفقية
95	3-4-6- تجسيد نقاط وصل المنحنيات الأفقية الرئيسة في الطبيعة
96	3-4-7- تعيين المناسيب على محور المسار
97	3-4-8- رسم المقطع الطولي لمحور المشروع
98	3-4-9- رسم المسار الرأسي
98	3-4-10- رسم المقاطع العرضية والميول الجانبية
99	3-4-11- إعداد المخططات والبيانات النهائية

المصطلح الرابع

104	4- الفرق الهندسية الرئيسة العاملة في مشاريع الطرق
104	4-1- مقدمة
106	4-2- فريق الهندسة المدنية
107	4-3- فريق المساحة الأرضية
109	4-4- فريق المساحة للجوية
110	4-5- العلاقة بين فرق الهندسة المدنية والمساحة الأرضية والجوية
110	4-5-1- العلاقة بين فرقي الهندسة المدنية والمساحة الأرضية
111	4-5-2- العلاقة بين فرقي الهندسة المدنية والمساحة الجوية
112	4-5-3- العلاقة بين فرقي المساحة الأرضية والمساحة الجوية

الفصل الخامس

- 116 5- أجهزة المساحة الالكترونية
- 116 1-5- مقدمة
- 117 2-5- نبذة تاريخية
- 118 3-5- مبدأ عمل أجهزة قياس المسافات الالكترونية
- 118 1-3-5- مبدأ عمل الأجهزة الكهروبصرية
- 121 2-3-5- مبدأ عمل أجهزة الموجات الدقيقة
- 121 4-5- جهاز المحطة الشاملة
- 121 1-4-5- مقدمة
- 122 2-4-5- أنواع أجهزة المحطة الشاملة
- 122 3-4-5- مجالات استخدام أجهزة المحطة الشاملة
- 122 4-4-5- مساوئ استخدام أجهزة المحطة الشاملة
- 123 5-4-5- التضليل بواسطة جهاز المحطة الشاملة
- 128 6-4-5- التقاطع العكسي بواسطة جهاز المحطة الشاملة
- 130 5-5- مقارنة بين الأجهزة الكهروبصرية وأجهزة الموجات الدقيقة
- 131 6-5- مصادر الأخطاء عند القياس بالأجهزة الكهروبصرية
- 133 7-5- العوامل المؤثرة على دقة أجهزة قياس المسافات الالكترونية
- 135 8-5- الأخطاء الثابتة والمتغيرة في قياس المسافات بالأجهزة الالكترونية
- 137 9-5- ملحوظات عامة
- 145 10-5- الميزات الفنية لأجهزة المساحة الالكترونية

الفصل السادس

- 156 6- شبكات الضبط أو التحكم
- 156 1-6- مقدمة في شبكات الضبط الأفقية
- 156 1-1-6- تمهيد
- 156 2-1-6- الهدف من انشاء شبكة الضبط الأفقية
- 156 3-1-6- طرق للقيامات المستخدمة في انشاء الشبكة الأفقية
- 159 2-6- مقدمة في شبكات الضبط للرأسية
- 164 3-6- المضاعفات
- 164 1-3-6- مقدمة
- 164 2-3-6- الهدف من انشاء المصنعت

165	6-3-3- أنواع المضلعات
168	6-3-4- برنامج القياسات للمضلعات
169	6-3-5- برنامج الحسابات للمضلعات
184	6-3-6- تصحيح المسافات من الأخطاء النظامية
193	6-3-7- إحداثيات نقطة تقاطع عدة مضلعات
197	6-3-8- إحداثيات نقاط المعالم والتفاصيل
199	6-3-9- ملاحظات عامة
210	6-3-10- متطلبات الدقة لأعمال المضلعات
237	6-3-11- حساب المناسيب لرؤوس المضلعات
237	6-3-11-1- مبدأ القياس في التسوية الدقيقة
240	6-3-11-2- متطلبات التسوية الدقيقة
241	6-3-11-2- ملاحظات عامة
246	6-3-11-4- مصادر الأخطاء في أعمال التسوية
248	6-3-11-5- التحقق من صحة المناسيب
250	6-3-11-6- الخطأ المسموح به في أعمال التسوية
264	6-3-12- العلامات الممثلة لنقاط المنكبات والمضلعات في الطبيعة
268	6-3-13- العدد اللازم لإجازة القياسات الميدانية
270	6-3-14- برنامج مشروع مضلعات
284	6-4- تعيين الإحداثيات بطريقتي التقاطع الأمامي والتقاطع العكسي
284	6-4-1- طريقة التقاطع الأمامي
286	6-4-2- طريقة التقاطع العكسي

الضمحل السابع

308	7- الأعمال للمساحة الخاصة بالتسوية المثلثية
308	7-1- مقدمة
309	7-2- تحديد الارتقاعات مع اعمال لتحناء الأرض وانكسار الأشعة
318	7-3- تحديد الارتقاعات مع اعتبار لتحناء الأرض وانكسار الأشعة

الضمحل الثامن

334	8- أعمال التسوية للمقاطع الطولية والعرضية
334	8-1- مقدمة
335	8-2- خطوات عمل مقطع طولي لمحور طريق مفتوح

339	8-2-1 رسم المقطع الطولي
344	8-2-2 فوائد عمل المقاطع الطولية
344	8-3- أعمال التسوية للمقاطع العرضية
344	8-3-1 مقدمة
345	8-3-2 خطوات عمل المقاطع العرضية لمشروع طريق
353	8-3-3 رسم المقطع العرضي
353	8-4-3 فوائد عمل المقاطع العرضية

الفصل التاسع

358	9- حساب مساحات المقاطع العرضية والطولية
358	9-1 مقدمة
358	9-2 الطريقة الحسابية أو التحليلية
366	9-3 طريقة الإحداثيات
375	9-4 طريقة المقطع المبسط
384	9-5 الطرق التخطيطية
384	9-6 الطرق الميكانيكية

الفصل العاشر

390	10- حساب الحجم
390	10-1 مقدمة
390	10-2 الطرق الشائعة في حساب الحجم
390	10-2-1 طريقة المقاطع العرضية
417	10-2-2 حساب الحجم من مناسيب النقاط
428	10-2-3 حساب الحجم من خطوط الكتور

الفصل الحادي عشر

438	11- المنحنيات الأتية
438	11-1 مقدمة
438	11-2 أنواع المنحنيات
439	11-2-1 المنحنيات الدائرية
439	11-2-1-1 المنحنى الدائري البسيط
462	11-2-2 المنحنيات المركبة

470	11-2-2- المنحنيات المتدرجة
470	11-2-2-1- مقدمة
470	11-2-2-2- أنواع المنحنيات المتدرجة
475	11-2-2-3- مفهوم القوة الطاردة المركزية
477	11-2-2-4- زيادة الميل العرضي في المنعطفات
483	11-2-2-5- اشتقاق معادلات المنحنى المتدرج
495	11-2-2-6- ترتيب الحسابات
505	11-2-2-7- المنحنى الدائري الموصول بمنحنيين لولبيين معامسهما متساويان

الفصل الثاني عشر

564	12- المنحنيات الرأسية
564	12-1- مقدمة
565	12-2- العناصر الأساسية للمنحنى الرأسي
565	12-3- انتقاء المنحنى الرأسي
566	12-4- إشارة الميل وزاوية التدرج
567	12-5- تصميم المنحنى الرأسي
567	12-5-1- الطريقة الهندسية
569	12-5-1-1- خواص القطع المكافئ البسيط
572	12-5-1-2- تعيين قيمة الثابت في معادلة المنحنى
579	12-5-1-3- اشتقاق معادلة القطع المكافئ البسيط
581	12-5-1-4- تحديد موقع أعلى أو أخفض نقطة من المنحنى
586	12-5-2- الطريقة التحليلية
590	12-5-3- الميل الرأسية العظمى في الطرق
592	12-5-4- العوامل المشتركة في اختيار طول المنحنى الرأسي
593	12-5-5- تهيئة متطلبات توقيع المنحنى الرأسي في الطبيعة

الفصل الثالث عشر

620	13- التمثيل الخطي لكميات الحفر والردم
620	13-1- مقدمة
624	13-2- منحني الحجوم
628	13-3- للتوزيع الاقتصادي للحفريات
630	13-4- تعيين المسافات الوسطى للنقل
634	13-5- تعيين خطوط التعادل

الفصل الرابع عشر

- 14- غرس أوتاد الميل
1-14 تعيين مواقع ومناسيب الأوتاد من المخططات
2-14 تعيين مواقع ومناسيب الأوتاد بالطرق التجريبية

الفصل الخامس عشر

- 15- شؤون المقاييس والدقة في مشاريع الطرق
1-15 مقدمة
2-15 مقاييس المخططات والخرائط
3-15 دقة المناسيب والمواقع الأفقية
4-15 خطأ الإغلاق الأعظم في المسافات والزوايا
5-15 الدقة الممكنة تحقيقها من الخرائط المشتقة في الصور الجوية

الفصل السادس عشر

- 16- التقنيات المساحية الحديثة ودورها في مساحة المسارات
1-16 مقدمة
2-16 مفهوم تطبيق التقنيات المساحية الحديثة في مساحة المسارات
3-16 المساحة الجوية الرقمية
4-16 معالجة الصور الرقمية
5-16 أنظمة تحديد المواقع العالمية
6-16 مفهوم الرصد وتحديد المواقع للمسارات
7-16 مبادئ رصد معلومات المسارات باستخدام ن ت م ع
8-16 أنظمة المعلومات الجغرافية
1-8-16 تعريفها وأنواعها
2-8-16 المكونات الرئيسة لنظم المعلومات الجغرافية
3-8-16 أنظمة المعلومات الجغرافية ومساحة المسارات
- المراجع

مهيـد

يهدف المؤلفون من خلال هذا الكتاب إلى المساهمة في إغناء المكتبة العربية بواحد من المراجع الهامة في مواضيع المساحة المتعلقة بشئون هندسة الطرق بشكل خاص وبشئون مشاريع للمسارات للمشاة الأخرى من خطوط سكك حديدية ولقنية وقوى .. الخ بشكل عام . يشتمل الكتاب على ثلاثة عشر موضوعاً مساحياً رئيساً تناقش مختلف الأعمال المساحية اللازمة لمراحل التخطيط والتصميم والتنفيذ للمشاريع آنفة الذكر، وهذه الفصول هي :

- الاعتبارات الأساسية في دراسة مشاريع الطرق .
- المراحل للمساحية الرئيسة في تصميم الطرق .
- الفرق الهندسية الرئيسة العاملة في مشاريع الطرق .
- أجهزة للمساحة الإلكترونية .
- شبكات الضبط أو التحكم .
- الأعمال للمساحية الخاصة بالتسوية للثلثية .
- أعمال التسوية للمقاطع الطولية والعرضية .
- حساب مساحات للمقاطع العرضية والطولية .
- حساب المحوم .
- للمنحنيات الأفقية .
- للمنحنيات الرأسية .
- التمثيل الخطي لكميات الحفر والردم .
- غرس أوتاد الليل .
- شئون للقاييس والدقة في مشاريع الطرق .

حرص المؤلفون على إبراز الجوانب العملية دون إغفال للجانب النظري مع ما يلزم من تطبيقات ورسومات وممارين كي تمين في تحقيق الغايات المرجوة من حيث الفهم

والقدرة على التطبيق بقة وجدارة . والأمل كبير في أن يجد الأكاديميون والباحثون والمخططون ومهندمو المساحة والمهندسون والمدنيون والمساكون في هذا الكتاب قدراً كبيراً من محتويات بعض المقررات الجامعية ذات العلاقة وما يعين على تنفيذ المطالبات المباحية المختلفة للعديد من المشاريع الهندسية تخطيطاً وتصميماً وتقييماً .

لقد اشتمل الكتاب على حوالي مئة مئة معلم توضيحي ، ما بين شكل ومثال وجدول ومقالة ، وكذلك تم الاستناد إلى أكثر من خمسين مرجعاً بهدف تحقيق أكبر قدر ممكن من الفائدة .

كذلك يذكر المؤلفون القاريء العزيز أن بعض الفصول الواردة في هذا الكتاب ، وبخاصة السابع والثامن والحادي عشر والثاني عشر ، ماهي إلا تنقيح وتحديث وإغناء وترتيب لبعض ما ورد في كتابي " أصول في المباحية " و " مساحة المسارات " مؤلفهما د. يوسف صيام .

ولا يغوت المؤلفون التنويه بفضل كل الأساتذة الأفاضل الذين كانت مؤلفاتهم ودراساتهم وبحوثهم مراجع أساسية هامة في إعداد هذا الكتاب ، فلكل هؤلاء عظيم الإجلال والتقدير آملين المعذرة عن كل خطأ في الطباعة أو سهو في التوثيق . كما أنه لمن دواعي الفطنة والامتنان أن يساهم القاريء العزيز بالتذكير بأي خطأ في الطباعة أو الإبداء بملاحظات تساعد في رفع مستوى التأليف بلغتنا العربية الحفالة خلود القرآن الكريم . ولا شك أن القاريء سيجد في ثنايا الكتاب العديد من الأخطاء ، المطبعية منها بشكل غالب ، ولا غرابة في ذلك مع الأسف الشديد فالأخوة الزملاء ممن ألفوا كتباً علمية باللغة العربية قد ذلقوا بكل تأكيد مرارة وقسوة كثرة الأخطاء المطبعية وانخفاض مستوى الإخراج وذلك نظراً لأن صناعة الكتاب العلمي العربي لم ترق بعد إلى المستوى المأمول .

والله ، الواحد الأحد ، نسأل أن يجعل في هذا الكتاب النفع الكبير لكل قاريء له أنه سيجب .

المؤلفون

- 1 -

الفصل الأول

مقدمة

INTRODUCTION

1-1 نبذة تاريخية عن الطرق :

لا يُعرف تاريخ عهده لمولد الطرق، ولكن مع توطن البشر واستئناسهم للحياة قبل نحو 9000 عام كانت المسارات التي ملكها الناس بحيواناتهم هي أول طرق مسورة عرضها البشرية، وقد أخذ مسار للمشاة والحيوانات مساراً متدرجاً ليخدم للملكيات الخاصة للثائرة. وهذا أدى إلى نظام طرق متدرجة وذات منحنيات حادة وميول شديدة في بعض أجزاءه .

ويعود تاريخ الطرق الحديثة إلى اليوم الذي اخترع فيه الإنسان العجلة في حوالي 5000 ق.م. ، حيث عرف الإنسان أول طريق مرصوف بالأحجار في عام 3500 ق.م. في بلاد ما بين النهرين. وقام المصريون في حوالي 3000 ق.م. بإنشاء طريق يصل النيل بالأهرامات ليسهل نقل الصخور للبناء الأهرامات . ثم أتى البابليون وبنوا شبكة مهمة من الطرق تصل العاصمة بالناطق، وكانوا أول من استخدم الأسفلت (الفار) كمادة من مواد إنشاء الطرق. إلا أن الفضل ينسب إلى الرومان في وضع أسس إنشاء الطرق حوالي عام 400 ق.م. فقد أنشأوا شبكة ضخمة من الطرق تتكون من 29 طريقاً رئيسياً يصل مجموع أطوالها إلى 80 ألف كلم، والتي أنشئت لأغراض عسكرية حيث كانت تنطلق على شكل طرق شعاعية من عاصمتهم روما إلى جميع أنحاء الإمبراطورية الرومانية ، ومازالت أجزاء منها قائمة حتى اليوم .

فالرومان أسسوا التقنية الحديثة لإنشاء الطرق التي كانت في الغالب مستقيمة في معظم أجزائها لتقريب للمسافات، حتى أنهم يرتقون بالطرق تلاً بدلاً من الالتفاف حوله ويتصّلون عن الوديان التي تغمرها السيول. وقد اهتموا في إنشاء تلك الطرق على تقنية العصر آنذاك وهي فرش مسار الطريق بطبقات من الصخور الثقيلة لتشكل الأساس، ثم رصف هذه المسارات بطبقة من الأحجار المسطحة، واستعمال عجينة جوية للعمل على تماسك الحجارة مع بعضها البعض . كما عرف المهندسون الرومانيون جدوى المنحدر الطرق الطفيف من المنتصف إلى الجانبين لتصريف المياه (cross slope). وأقاموا البحاري على جانبي الطريق لتحمل المياه بعيداً .

ولم يكن آنذاك آلات دقيقة من آلات المساحة لتحديد اتجاه الطريق، ببل كان الرومان يستعملون الدخان فكانوا يرون النار والدخان عن بعد ويوجهونها بحيث تكون الطرق على استقامة واحدة ، كما كانوا يستعملون النجوم للفرض نفسه .

وبعد أن قول نفس الإمبراطورية الرومانية (400م) تدهورت حالة الطرق وتوقفت صناعتها بعد دخول أوروبا في العصور للظلمة، ولم تعد صناعة الطرق إلا في نهاية القرن الثامن عشر الميلادي حينما قام للمهندس الفرنسي ترساغوت بتطوير طريقة لإنشاء الطرق باستعمال الأحجار الكبيرة كقاعدة للطريق مغطاة بأحجار أصفر، وكان ذلك هو الأسفلت الذي يمكن الفرنسيين في عهد نابليون من إنشاء نظام طرق وطني للأغراض العسكرية .

وفي نفس الوقت تقريباً تطور إنشاء الطرق في إنجلترا، حيث قام كل من للمهندسين تلفورد و ماكآدم من تطوير أساليب مشابهة لإنشاء الطرق، حيث استعمل تلفورد أحجاراً كبيرة كقاعدة للطريق وغطاها بأحجار أصفر كسطح للطريق، أما ماكآدم فاستعمل أحجاراً صغيرة لكامل أجزاء الطريق، وهذا النوع لازال مستخدماً إلى اليوم في إنشاء الطرق ويعمل اسمه .

ومع بداية القرن التاسع عشر الميلادي، أنشئت آلاف الكيلومترات من الطرق الجيدة التي أعطت في اعتبارها تصريف المياه والتأسيس على أرضية صلبة، كما أن اختراع الإطارات للطاقية بدلاً من للمعدنية من قبل دنلوب (1888م) ساعد على تغطية أسطح الطرق بالأسفلت (مع بداية القرن العشرين) مما زاد من مستوى الراحة والسرعة وتقليل الآثار البيئية من ضوضاء وأتربة متطايرة . كما أن اختراع محرك الاحتراق الداخلي بواسطة المعلنين بنو ودملر (1886م) أدخل ثورة في عالم الطرق والدعول في عصر السيارات الذي نعيشه اليوم .

1- 2 شبكة الطرق في المملكة العربية السعودية :

شهدت شبكة الطرق في المملكة العربية السعودية تطورات وقفزات ملموسة منذ تأسيس المملكة وتوحيدها، وذلك استجابة للتطورات الاقتصادية والاجتماعية قبل الخطط التنموية للدولة وخلالها. فقد كان مجموع أطوال الطرق في عام 1372هـ لا يزيد عن 239 كلم، ثم وصل إجمالي الطرق للسفلة قبل بداية خطة التنمية الأولى عام 1390هـ إلى حوالي 8500 كلم بالإضافة إلى 3580 كلم من الطرق الزراعية للمهدة (التزليمة). ثم بلغت في نهاية خطة التنمية الرابعة (1410هـ) حوالي 37 ألف كلم من الطرق للسفلة بالإضافة إلى حوالي 77 ألف كلم من الطرق الزراعية للمهدة. وقد وصلت تلك الأرقام صعودها إلى أن بلغت في عام 1418هـ أكثر من 44 ألف كلم من الطرق السريعة وللزدوجة وللنفردة، كما قارب مجموع أطوال الطرق الزراعية للمهدة مائة ألف كلم. وبلغ مجموع أطوال الطرق السريعة وللزدوجة فقط حوالي 7000 كلم صممت ونفذت وفق أحدث مواصفات الطرق السريعة في العالم ، حيث تتكون من اتجاهين يفصلهما جزيرة وسطية، وفي كل اتجاه عدد من المسارب يتراوح بين 2-6 مسارب، كما زودت هذه الطرقات بسياج ملحق في الوسط وعلى جانبيها، وزودت أيضاً بالجسور والتقاطعات الطولية، وكافة وسائل السلامة .

وقد بلغت التكاليف الإجمالية لإنشاء شبكة الطرق في المملكة ما يربو عن 132 بليون ريال سعودي . وقد صاحب إنشاء الطرق برامج صيانة لها وبكفاءة عالية لتأمين السلامة للروية مستخدميهما وللحفاظ على هذه الاستثمارات الضخمة، حيث بلغ إجمالي ماتم صرفه على صيانة الطرق منذ 1390هـ ما يربو عن 14 بليون ريال سعودي.

ويجدر الإشارة إلى أن كبر مساحة المملكة وتنوع تضاريسها قد أوجد تحديات لإنشاء الطرق التي تخترق الكتيان الرملية في الصحاري (مثل الربع الخالي والدماء والنفود) وتلك التي تربط أعالي الجبال بالسهول. فعلى سبيل المثال، تمتد سلسلة جبال السروات بمنطقة الجنوبية الغربية من المملكة لمسافة 500 كلم وارتفاع يصل إلى 1500م، مما يشكل

علاقاً طبيعياً للاتصال بين المراكز السكانية الكثيفة فوق الجبال وتلك المنتشرة في السهول والوديان. وقد تم التغلب على ذلك بإنشاء طرق مسفلتة وجسور وأفاق يمر عبر الوديان وتغترق الجبال الشاهقة وهي ما تسمى بالعقبات، وتم حتى الآن تنفيذ أربع عقبات بأساليب هندسية بالغة التطور، وتم فتح هذه العقبات أمام حركة النقل وللرور وهي عقبة شعار وعقبة الجوة وعقبة الباحة وعقبة ضلع. ومع فتح هذه العقبات توفرت سبل الانتقال من المراكز السكانية والقرى على قمم الجبال إلى سهول تهامة وبالعكس في وقت قصير لا يتجاوز الساعة الواحدة، بينما كانت هذه الرحلة تستغرق في السابق يوماً كاملاً على الأقل .

1- 3 أهمية الطرق في مجالات التنمية الحيوية :

تمثل الطرق العمود الفقري للبلاد والذي تتمحور حوله وحدة البلاد ونموها وتطورها. ومثل الطرق بالنسبة للدول كممثل الشرايين للإنسان، فمع الشرايين يتدفق الدم حاملاً الغذاء للجسم في حين أن الطرق تتدفق عبرها للسلع والسلع المستوردة وللصدرة وتجارة الترانزيت وللسافرين وكل مقومات التطوير والنمو وكل ما من شأنه أن يجلب للبلاد التقدم والرفق والترابط بين السكان. ولاشك بأن وجود شبكة متطورة من الطرق في الدولة يمكنها من تحقيق أهدافها وسياساتها الأمنية والاستراتيجية والعسكرية والإقتصادية والثقافية والإجتماعية والسياسية.

فالطرق تلعب دوراً مهماً في حركة البضائع والسلع، فالبضاعة تنحدر عبدة القيمة ما لم يكن لها منفعة، بمعنى قدرتها على تلبية حاجات المستهلك، ونقلها في هذه الحالة يضمن نوعين من المنفعة هما المنفعة للمكانية والمنفعة الزمانية، وهذان للصطلحان الإقتصاديان يعينان أن السلعة ليس لها قيمة اقتصادية حية إلا إذا كانت متوفرة في المكان والزمان اللطوريين.

ولتقدير الدور الذي تلعبه الطرق في تطور التنمية من اللازم تحليل الحياة قبل اختراع الطريق والمعلقة، أو بمعنى آخر قبل ردم القفحة بين المنتجين والمستهلكين. وبالتالي

تبادل السلع المختلفة. وفي المجال الصناعي يلعب النقل على الطرق دوراً حيوياً يربط موارد اللواد الخام ومراكز الإنتاج والأسواق .

أما داخل المدن على وجه الخصوص، فإن الطرق توفر حلقة الوصل بين المزل ومقر العمل، والواقع أن أكثر من 50٪ من الرحلات داخل المدن هي رحلات تتعلق بالعمل.

كما تلعب الطرق دوراً هاماً في الدفاع عن البلاد ووحدةها السياسية، وعادة ما تنشئ الدول شبكة متكاملة من الطرق الاستراتيجية التي تربط أجزاء البلاد، والتي أنشئت لأغراض دفاعية واستراتيجية، وليس بناء على احتياجات النقل للمجتمع فقط .

وتعد الطرق من الخدمات التي تقدمها الحكومة بالضرورة والتي لا يستطيع القطر الخاص تقديمها، ومن أهم أغراض إنشاء الطرق رفع مستوى اقتصاديات الدولة كلها عن طريق النقل المباشر للبضائع والمساعدة في المشكلات المتعلقة بالدفاع الوطني، وتسهيل إمداد المجتمع المحلي بالخدمات المختلفة مثل الشرطة والدفاع للسكن والرعاية الطبية والتعليم وخدمات البريد، وفتح مجالات إضافية للسفر والترفيه. هذا ومن الطبيعي أن يستفيد ملاك الأراضي من الطرق لأن تسهيل الوصول إلى الأراضي سيزيد من قيمتها بلا شك .

لذا فالطرق عنصر ضروري للمجتمع في جميع مجالات التنمية الحيوية، فهي تؤثر على مواقع الأنشطة الإنتاجية والترفيهية وانتشارها، وتؤثر على مواقع المساكن، وعلى انتشار البضائع والخدمات للتوفرة للاستهلاك . فالتقدم في الطرق عمل على تغيير نمط الحياة ورفع مستوى المعيشة وساهم بذلك في تطور ونمو المجتمعات .

1 - 4 مستقبل شبكات الطرق :

بالرغم من أن شبكة الطرق في المملكة العربية السعودية تكاد تنحصر نحو التكامل والنضج، إلا أن عملية إنشاء الطرق في البلاد لا يمكن أن تتوقف عند هذا الحد، بل ألما في تزايد مستمر مع تزايد احتياجات التنمية الاقتصادية والاجتماعية للواكبة لها. وإذا كانت

للمرحلة السابقة من مد وتجهيز شبكة الطرق في المملكة قد تميزت بالفاقت في معظمها في ظل ظروف الظروف الاقتصادية للترامة معها آنذاك؛ فإن المرحلة القادمة - في ضوء استقراء التوجهات الاقتصادية المحلية والعالمية - سوف تتم في ظل ظروف اقتصادية مختلفة تستلزم أن تكون قرارات تصميم الطرق وإنشائها مبنية على مزيد من الأسس العلمية السليمة . ومن أهم الأسس في هذا المجال الأسس الهندسية التي تقوم بتصميم أجزاء الطريق وعناصره ومسامره بما يتناسب مع الطلب على النقل وحركة المرور المتوقعة .

وما زال التقدم التقني الذي بدأ في عصر الطرق الحديثة مستمرا حتى اليوم . ولقد امتدت المعرفة إلى مجالات التربة والمواد المستخدمة في إنشاء الطرق مما جعل تصميم الطرق الآن أكثر كفاءة وأقل تكلفة . كما ظهرت علوم جديدة تماما في مجالات تخطيط الطرق والتصميم الهندسي والإنشائي لها ، وكذلك في التحكم في المرور عليها . ومن المرجح أن للشبكة الأساسية التي تواجه للمهتمين بصناعة الطرق هي تحديد الدور الذي يجب أن تقوم به الطرق ووسائل النقل الأخرى في المدن . فكمثل من النقد الآن يوجه إلى وجود السيارة وما أدى إليه من مشكلات متعددة، مثل نزوح سكان المدن إلى الضواحي واستقطاب المرور وتردي أحوال وسط المدينة وتلوث الهواء والضوضاء وغير ذلك مما يؤكد الحاجة الملحة للبحث عن حلول جديدة .

وقد ظهر مؤخرا نتيجة لذلك ما كان يعرف باسم "نظم الطرق الذكي والمركبة الذكية" في الثمانينيات الميلادية، والتي تسمى الآن باسم "نظم النقل الذكية" والتي توظف التقنيات الحديثة في الإلكترونيات والاتصالات والحاسبات في مجال النقل للرفع من سلامته وكفاءته . ولا زالت هذه النظم في مراحل ولادتها وهي تركز بشكل خاص على النقل على الطرق.

وما يعنينا هنا هو ما يعرف باسم "الطرق الآلية" الذي يهدف للتحكم الكامل بحركة المركبات عليه فور دخولها، مما يحل السائقين من مسؤولية القيادة، فضلا عن يمدد سائق المركبة مقصده، تقوم نظم حاسبات قادرة بالتحكم بجميع حركات المركبات على الطريق الآلي مما يساعد على زيادة سعة الطريق ومستوى السلامة عليه . والطريق الآلي.

ليس حلاً، إذ تقوم الولايات المتحدة الأمريكية حالياً بتطويره ووزعت له ما يزيد عن 300 مليون دولار أمريكي .

وبرنامج الطرق الآلية برنامج طموح يشبه البعض ببرنامج المبوط على سطح القمر الذي تحقق في الستينات من هذا القرن، ولكنه أكثر تعقيداً إذ أنه يتطلب التحكم بعشرات الملايين من المركبات مما يقود إلى الاعتقاد بأن نجاحه الكامل غير مضمون حتى على المدى البعيد .

وتقنيات النقل الذكية لها حدودها، بمعنى أنه بالرغم من أهميتها فلها لا يمكن بأي حال من الأحوال أن تحل محل الحاجة للتوسع الطبيعي في إنشاء الطرق وبنيتها التحتية. والتمدد في شبكة الطرق يعطي نتائج أفضل بكثير من حيث السرعة وتحسين الحركة للروية عليها مما قد تعطيه نظم النقل الذكية .

1- 5 التخطيط السليم للطرق ونفقات الصيانة المستقبلية :

هناك علاقة وثيقة بين أساليب التصميم والإنشاء للطرق وبين تكاليف الصيانة لها. فعلى سبيل المثال، نجد أن وضع طبقات الأسس بسمك غير كاف أو الإهمال في إنشائها يترتب عليه سرعة ظهور التشققات في سطح الرصف وما تستلزمه من ترقيع وإصلاح الطبقة المسطحة. ونجد أيضاً أن اللجوء إلى مسارب المرور الضيقة في أثناء التصميم يؤثر تأثراً بالغ الضرر على أكتاف الطريق خاصة عندما تضطر مركبات النقل الثقيلة للمسور فوقها مجموعة من عملائها بعد عروجها من حدود الرصف. ونجد أيضاً أن عدم العناية بتصميم وسائل تصريف المياه قد يعني تآكل جوانب الطريق، أو ترسيب اللواد مما يتطلب عمليات التنظيف والتصحيح المكلفة ، كما أن اللجوء إلى مجاري الصرف ذات الليول الحادة تتطلب الصيانة الدورية الباهظة التكاليف إذا ما قورنت بالصيانة الآلية التي لا يمكن القيام بها إلا في حالة الليول البسيطة قليلة الانحدار .

أما في المناطق التي تساقط فيها الثلوج أو تهب فيها العواصف المحملة بالرمال، فنجد أن التخطيط السيء للطريق والجسور للمنخفضة أو قطاعات الحفر الضيقة التي لاتدع

جاءاً لتخزين الجليد أو الرمال المختمة تخلف مشاكل عديدة لإنشائها. وفي الكسور من الأحيان، نجد أن ارتفاع تكاليف الصيانة الناتجة عن التخطيط السيء أو الإنشاء السريء يؤدي إلى ضرورة إعادة إنشاء الطريق .

وعموماً ، تتفاوت التكاليف الثلاث الرئيسية للطرق - التكاليف الرأسمالية للإنشاء وتكاليف الصيانة وتكاليف المراقبة والضغط للروري - مع تفاوت مستويات الحركة للرورية وتركيباتها من الأنواع المختلفة من المركبات. فإذا كانت الحركة للرورية للتوقعة على الطريق الجليد حركة خفيفة ومكونة بشكل أساسي من سيارات الركاب الصغيرة، فإنه يمكن تصميم الطريق بشكل مختلف عن تصميمه في حالة كون الحركة للرورية مكونة من شاحنات ثقيلة .

وتقدر التكاليف الإضافية لزيادة سماكة الرصف وزيادة عرض رصف الطريق لاستيعاب الشاحنات بحوالي 50% من التكاليف الإجمالية لرصف الطريق. كما يقدر أن حوالي 40 % من تكاليف إنشاء الجسور تعود لتصميمها للاستخدام من قبل الشاحنات. وكذلك يقدر أن تكاليف تسوية الطرق وتصريف المياه تزداد بحوالي 20% بسبب أخذ الشاحنات الثقيلة في اعتبارات التصميم .

وعادة، لا تصمم جميع الطرق وتنشأ لاستيعاب الأحمال الثقيلة، بل أن الطرق للنشأة للحركة للرورية الثقيلة لا تمثل سوى نسبة ضئيلة من مجموع أطوال شبكات الطرق، بالرغم من أنها تمثل جزءاً كبيراً من تكاليف الإنشاء. كما يقدر أن ما بين 40 % و 90% من تكاليف صيانة وإصلاح الطرق تعود لتأثير الشاحنات وحدها (الاختلاف في النسبتين يعود لاختلاف طرق حسابها). لذا ينبغي توخي الحذر في تقدير حجم المرور للتوقع ونسبة الشاحنات للتوقعة على الطريق للتوي إنشاؤه للمعروج بتصميم متوازن غير مبالغ فيه .

1 - 6 التخطيط السليم للطرق وتحقيق شروط السلامة المرورية وراحة المسافرين :

عند تصميم الطرق الجديدة، يجب توجيه اهتمام خاص بالسلامة كمعيار أساسي للتصميم. ويقصد بمعايير التصميم القرارات الاستراتيجية المتعلقة بالموصفات الهندسية التي ينشأ على أساسها الطريق. وعادة ما تتخذ مثل هذه القرارات في مرحلة التخطيط والتي غالبا ما تتأثر أساسا باعتبارات السعة والكفاءة الاقتصادية، ولكن يجب أيضا اعتبار عامل السلامة .

لذا ينبغي أن يكون تعظيم مستوى السلامة للمرورية على الطريق هو الهدف الأولي للتصميم في جميع الحالات. ولقد تطورت جميع مواصفات ومعايير التصميم، بلا استثناء، على أساس اعتبارات السلامة بالدرجة الأولى. وينبغي أن يلم للمصمم بتأثير البدائل التصميمية على مستوى السلامة. وتتفاوت هذه التأثيرات بدرجة كبيرة مع نوع الطريق وظروف أحجام الحركة المرورية والخصائص الهندسية للطريق.

ونلخص فيما يلي أهم شروط واعتبارات السلامة في تصميم الطرق .

1 - التحكم بالدخول إلى والخروج من الطريق : التحكم الكامل في الدخول والخروج هو للمسامح الأكبر في تحقيق سلامة الطرق من بين الخصائص التصميمية الأخرى. وتزيد معدلات الحوادث لأنواع الطرق الأخرى بمعدل مسن مرتين إلى ثلاثة أضعاف معدلاتها في الطرق الحرة (السريعة) المحكومة للدخول والمخارج بالكامل .

2 - القطاع العرضي: تساهم جودة تصميم المسارب والأكتاف وجانبي الطريق جميعها في تحقيق السلامة، فمثلا تزداد معدلات الحوادث بشكل ملموس في الطرق الضيقة للمسارب والأكتاف. وقد أجريت عدة دراسات لتأثير عوامل مثل عرض للمسرب وعرض ونوع أرضية كتف الطريق والميول العرضية لرصف الطريق على السلامة المرورية، ثم مجموعها وضع معايير ومواصفات قياسية لتصميم الطرق تحقق أكبر قدر من السلامة لمرتاديها .

3 - التخطيط الأفقي والرأسي : تعد للنحنات الأفقية العامل الرئيسي المؤثر على سرعة للركبة على الطرق، لذا يجب تصميم للنحنات الأفقية بحيث يمكن للسائق تجاوزها بسلام. كما تؤثر للنحنات الرأسية وللطول الطولية على السلامة. وتبلغ معدلات الحوادث على للنحنات حوالي ثلاث مرات معدلاتها على أجزاء الطرق المستقيمة .

4 - مسافة الرؤية: لابد لمصمم الطريق ضمان أن السائق يستطيع السور على الطريق بأمان بالسرعة لللائمة للطريق وذلك بتوفر مسافة رؤية أمامية كافية، خصوصا عند للنحنات الرأسية والأفقية .

5 - التقاطعات المسطحة: وهي نقاط معرضة لتضارب الحركات عندها بشكل طبيعي، لذا يجب تصميمها بشكل يقلل من التعارضات في الحركة باستخدام وسائل التحكم للروية للناسبة .

6 - اعتبارات أخرى مثل احتياطات السلامة عند أعمدة الجسور وعند عبارات السيول، وإضافة مسارب إضافية للتجاوز في الطرق للفردة خصوصا في الليول الحادة، وكذلك توفر مسارب خاصة كمنحدرات لإيقاف الشاحنات التي فقد سائقوها السيطرة عليها في الليول الحادة .

وقد أخذ في الاعتبار أيضا عند وضع مواصفات تصميم الطرق الجوانب المتعلقة براحة الركاب والسافرين، مثل للنحنات الانتقالية في التخطيط الأفقي للطريق والتي تستعمل للإنتقال من الأجزاء للمستقيمة إلى الأجزاء للنحنية من الطريق وبالعكس بسلامة لا يشمر معها الركاب بالانحناء . وكذلك استعمال التعليب الجانبية في للنحنات الأفقية للحد من تأثير القوة الطاردة للركزية على للركبة وركابها .

1-7 دور المساحة في أعمال تخطيط وتصميم الطرق :

تستند أعمال التخطيط والتصميم لمشاريع الطرق للمعلة وما شابهها إلى قدر هائل من المعلومات . ويقدر ما تكون هذه المعلومات شاملة ودقيقة بقدر ما تساهم في تحقيق تصوّر حقيقي وحساب دقيق عما يؤدي بالتالي إلى تخطيط أفضل وتصميم أكثر تحلواً مع الأهداف للرد تحقيقها . وما لأشك فيه أنه في غياب هذه للمعلومات سيكون التخطيط عشوائياً والنتائج سلبية والخسارة فادحة . وخلال العقود الثلاثة الماضية طرأت تقنيات هائلة على أجهزة للمساحة وطرق القياس عليها وبرامج الحواسيب ومعالجة للمعلومات المشتقة بواسطتها . كما ازداد الإقبال على استعمال وسائل للمساحة الجوية ومعلومات الأقمار الاصطناعية والاستشعار عن بعد وأجهزة قياس للمسافات الإلكترونية وتقنيات الليزر بالنظر لما توفره هذه المصادر والوسائل من إمكانيات جبارة في استبطاء قدر هائل من المعلومات بسرعة ودقة فالتقنين تتلاءم تماماً مع متطلبات التخطيط والتصميم والتنفيذ والصيانة لمشاريع للمسارات المختلفة . تتناول هذه للمعلومات بالضرورة أعمال للمسح للوقعي والطوبوغرافي لشريط أرضي على طول للمسار المقترح ، بشكل لولي، وذلك ليبيان تضاريسه وتحديد كل ما يقع ضمنه وحوله كأساس لدراسة للشروع ورسم للمسار المناسب ووضع التصميم التي تنطبق على واقعه وتؤدي إلى تحديد كميات الأعمال الترابية ومواقع الجسور والعبارات وغيرها من عناصر للشروع الأساسية بشكل اقتصادي ومقال.

جدير بالذكر أنه وبالنظر لوفرة ودقة وسرعة استبطاء للمعلومات لم تعد عملية للمفاضلة بين مسار وآخر في مشاريع الطرق والمسارات الأخرى (سكك حديدية وخطوط قوى وقنوات وخطوط أنابيب ... الخ) مقتصرة بشكل أساسي على بند الأعمال الترابية فحسب وإنما اتجه للمخططين والمصممين إلى عوامل لمفاضلة أخرى تقضي بشؤون الميكرولوجيا والميولوجيا والتربة والسياحة ومتطلبات السلامة العامة وقابلية التطوير للأراضي المحاذية واستعمالات الأراضي وتوفر مواد الإنشاء وعوامل الطقس ومشكلات التلوث الناشئة عن الضخيج والحرق وقود العربات وشؤون أخرى كثيرة .

1- 8 عرض موجز لبرامج التخطيط والدراسات الحفيدة لمشاريع الطرق :

أدى التطور السريع في البرامج والحزم الحاسوبية في السنوات الأخيرة إلى إدخال تحولات جذرية في عملية تصميم الطرق، فلا داعي الآن لإجراء الحسابات الطويلة والمتكررة بالأسلوب اليدوي، وبدلاً من ذلك تتوفر الأجهزة الحاسوبية الصغيرة الحجم والعالية السرعة، بالإضافة إلى البرامج والحزم الحاسوبية للعقدة والتي تشمل الرسم باستخدام الحاسب، إمكانية دراسة عدد كبير من خيارات التصميم وإجراء الحسابات التصميمية اللازمة في زمن قصير وموثوقية أعلى .

وفي الواقع ، فقد كان تخطيط الطرق أحد التطبيقات المبكرة للتصميم بمساعدة الحاسب في مجالات الهندسة المدنية، وذلك نظراً لأن تحديد تخطيط الطريق يتطلب عدداً ضخماً من الحسابات المتكررة من أجل تثبيت التخطيط الهندسي للطريق وتحديد نقاط كافية للتمكن من تحديد الطريق على الطبيعة .

واليوم ، تقوم معظم الجهات الحكومية والشركات الاستشارية للخدمة بتصميم الطرق بتوظيف برامج الحاسب للمساعدة في ذلك . وتستخدم هذه البرامج مع برامج الرسم بالحاسب لإعداد مخططات مشاريع الطرق. والشائع أن يتم تشغيل برامج التصميم مع برامج الرسم في وقت واحد بحيث تستدعي برامج التصميم برامج الرسم عند الحاجة لإعداد الرسومات .

وتبدأ عملية تصميم الطرق باستخدام الحاسب بملف للطبوغرافية، وإذا ما كان النموذج الأرضي الرقمي متوفراً، فإنه يستعمل لإنشاء خارطة كنتورية لاستخدامها كخارطة الأساس. ويمكن إضافة الخصائص الأخرى، مثل المنشآت القائمة، إلى خارطة الأساس باستخدام برنامج للرسم .

وحالما تكتمل خارطة الأساس، يبدأ المهندس بتصميم الطريق وذلك بتعريف التخطيط الأفقي والرأسي، إذ يتم البدء بالتخطيط الأفقي أولاً، وبناء عليه فإن برنامج التصميم سيعرض للناسيب الحالية على طول محور الطريق أو أي خط مرجعي أساسي

آخر. ويمكن أن يحتوي للمشروع الواحد على عدة تخطيطات أفقية ورأسية، مثلا يمكن تصميم الطريق للقسم بجزيرة وسطية واسعة بشكل مختلف لكل اتجاه. وعند القيام بعملية التخطيط، يمكن تحديد النقاط الهامة (مثل نقاط التقاطع) إما من خلال إحداثياتها أو المحطات أو الارتفاعات (في حالة التخطيط الرأسي). كما يوفر برنامج التصميم عادة القيام بعملية تحديد محطات التخطيط أيضا، ورسم الخصائص القياسية مثل للنحنات الأفقية الدائرية والنحنات الانتقالية والنحنات الرأسية بطريقة آلية .

كما يقوم للمهندس أيضا بتعريف رسومات قياسية تصنف القطاع العرضي للطريق من حيث خصائصه الهندسية وشكل عندئذ تصريف المياه الجانبية والأعمال الترابية للمبول الجانبية. ويمكن تحديد عدد من الرسومات القياسية لذلك يستعملها برنامج التصميم لحساب التحولات بين هذه القطاعات العرضية للتتابع . وفي حالة للنحنات الأفقية التي لها تلمية جانبية، فيقوم البرنامج بتعديل الرسومات القياسية للمقاطع العرضية لأخذ التلمية الجانبية في الحسبان .

وخلال يتم تعريف التخطيط الأفقي والرأسي والرسومات القياسية للمقاطع العرضية، يقوم البرنامج بإنشاء تمثيل رياضي ثلاثي الأبعاد للطريق منها. وهذا يتيح للمهندس الحصول على مناظر ثلاثية الأبعاد للطريق، يمكن تدويرها وتكبيرها لإنتاج رسومات ثلاثية الأبعاد للطريق من أي زاوية نظر . كما يقوم البرنامج أيضا بحساب للمقاطع العرضية للأعمال الترابية من خلال النموذج الأرضي الرقمي وإجراء حسابات حجوم الأعمال الترابية أيضا .

وتشمل فوائد استعمال برامج الحاسب لتصميم الطرق ما يلي :

- 1 - توفر القدرة على إعادة التصميم بسرعة، وعلى وجه الخصوص فإن حجوم وكميات الأعمال الترابية للتخطيط الجديد يمكن حسابها بسرعة فائقة. وهذه فائدة عظيمة لأن حسابات حجوم الأعمال الترابية باليد عملية مرهقة جدا. وهذه الميزة تتيح للمهندس تحري ودراسة العديد من البدائل التصميمية .

2 - توفير القدرة على تصوير الطريق بسهولة وذلك بأبعاده الثلاثة، وحيث أنه يمكن إنشاء التمثيل الثلاثي الأبعاد من أية زوايا نظر فإن من السهل تقوم للظهر للترفع للطريق .

3 - بوجود برامج التصميم والرسم يمكن إعادة رسم للمخططات بمقياس رسم مختلف بشكل سريع، كما يمكن إنتاج عدة نسخ من الرسومات تركز على الخصائص للرسومة في شرائح مختلفة يمكن تمثيلها بالوان مختلفة .

وهناك عدد من البرامج والحزم الحاسوبية التجارية لتصميم الطرق والتي تستخدم لتحديد التخطيط الأفضل للطريق، فمثلا يعتبر برنامج MOSS واحدا من أشهر البرامج المستخدمة الآن ، والذي تم تطويره في السبعينيات تحت مسمى NOAH من قبل معمل أبحاث النقل البريطاني. وبرنامج MOSS عبارة عن نظام رسم تفاعلي، ويشمل إمكانات مثل تلقي البيانات وتحليلها والتصميم وإعداد العقود والرسم الهندسي والتمثيل البصري ، كما يمكن استخدامه لإعداد التصميم الابتدائية والنهائية لدى واسع من المشاريع التصميمية مثل تخطيط الطرق والتقاطعات المسطحة والمخولات متعددة للمستويات وتوسعة الطريق ونحوها. كما تتوفر برامج تجارية أخرى مثل برنامج CEAL وبرنامج Softdesk وبرنامج Eagle Point وبرنامج Eclipse وبرنامج PHD2 وبرنامج GTS وغيرها .

وباختصار ، فإن أحد الفوائد الأساسية لاستخدام برامج التصميم الحاسوبية هو تطوير قدرة المهندس على إجراء عدة محاولات تصميمية لفرض تحسين التصميم دون صرف أوقات طويلة وجهود مضنية، مع القدرة على رؤية التأثير الناتج للتعديل في التصميم على للمخططات التنفيذية بشكل فوري دون الحاجة لإجراء الخطوات الوسطية المعقدة التي كانت مرتبطة تقليديا بالأساليب اليدوية للتصميم في الماضي .

ومن المهم ملاحظة أنه يجب على المهندس المصمم أن يكون ملما إلماما تاما بجميع معايير التصميم ومواصفاته وطرق التصميم اللازمة لتصميم طريق يتميز بالأمان والكفاءة وذلك ليتمكن من استخدام برامج التصميم بالحاسب بشكل سليم .

- 2 -

الفصل الثاني
الاعتبارات والمراحل الأساسية
في دراسة مشاريع الطرق

2 - الاعتبارات والمراحل الأساسية في دراسة مشاريع الطرق :

1-1 - مقدمة :

إن تحقيق الاختيار الأمثل لمسار طريق معين يتطلب دراسة دقيقة ومتنوعة وشاملة لشريط الأرض الذي سيمر عبره الطريق. تتناول هذه الدراسة أموراً أساسية كثيرة، نذكر منها :

- قابلية التطور والانتعاش الصناعي والزراعي والسياحي ... إلخ .
 - الوضع الطبوغرافي .
 - الوضع الهيدرولوجي .
 - الوضع الجيولوجي .
 - الوضع الزراعي .
 - الوضع السياحي .
 - الوضع السكاني والاجتماعي .
 - الاحتياجات للروية، الحالية والمستقبلية .
 - الوضع البيئي .
 - الوضع السياسي .
 - الوضع للمالي والاقتصادي .
 - أمور أخرى ومعلومات إحصائية تتعلق بآراء أصحاب العلاقة والاهتمام من الجمهور وللؤسسات والدوائر المختلفة.
- كذلك فإن هناك اعتبارات أساسية تحكم عملية التصميم ذلقا للطريق المقترح. من بين هذه الاعتبارات ما هو قديم وما هو حديث. نبين في الفقرات التالية ، الاعتبارات القديمة والعوامل التي أدت إلى تطورها ثم الاعتبارات الحديثة الحالية .

2-2 الاعتبارات الأساسية القديمة :

يمكن إيجاز الاعتبارات الأساسية القديمة التي كانت تحكم عملية التصميم في النقاط الرئيسة التالية :

- 1 - الميول التي تحقق أكبر قدر ممكن من الاقتصاد .

- 2 - للمساكن التي تؤدي إلى أقل عدد من منافذ تصريف المياه (الجسور والعبارات).
- 3 - عدم التقاطع مع الوديان والأنهار الكبيرة تجنباً لإنشاء الجسور الضعيفة ذات التكاليف العالية .
- 4 - للمساكن القريبة ما أمكن من المواد الخام اللازمة في عملية الإنشاء (حصمة، رمل، مياه ... إلخ).

2- 3 العوامل التي أدت إلى تطور اعتبارات التصميم القديمة :

- من بين العوامل الرئيسة التي أدت إلى تطور اعتبارات التصميم القديمة، نذكر :
- 1 - الإقبال للتزايد على اقتناء وقيادة السيارات والمركبات المتنوعة .
- 2 - الازدياد الهائل في كثافة وحركة السير.
- 3 - الاتجاه للتزايد نحو توسيع المدن والعزز للتنامي لظاهرة التحضر (المجرة من الريف إلى المدن).
- 4 - الارتفاع الكبير في أسعار الأراضي .
- 5 - ارتفاع معدل الوفيات والإصابات الناجمة عن ازدياد حوادث الطرق ناهيك عن الأضرار الهائلة في الممتلكات .
- 6 - ازدياد أحجام وأوزان المركبات والشاحنات ووسائل النقل المختلفة.
- 7 - إدخال المعيار الجمالي في تصميم المسارات .
- 8 - الحاجة إلى خدمات مرورية أكثر راحة وأمناً .
- 9 - استغلال الشريط المخاذي للطريق في خدمات واستثمارات متنوعة .
- 10 - اعتبارات النظرة المستقبلية والشمولية في التخطيط .

2- 4 الاعتبارات الأساسية الحديثة في تصميم المسارات :

- نبين فيما يلي أهم الاعتبارات والعوامل الأساسية التي أضحت تحكم عملية التصميم لمسارات الطرق .
- 1 - التعامل مع الاحتياجات الحالية والانسجام والتكامل مع المتطلبات وللشارع المستقبلية .

- 2 - الحاجة للطريق ومدى الاستفادة منها على المستوى الجماهيري.
- 3 - تحقيق متطلبات الراحة والجمال بشكل يتكامل مع غايات الطريق الأساسية.
- 4 - تلبية الاحتياجات للروية لاستعمالات الأراضي المجاورة الحالية منها والمستقبلية.
- 5 - تحقيق الوفرة الاقتصادي .
- 6 - تأمين السلامة العامة بأقصى درجة من الاعتبار حتى في حالات السرعة والكثافة للروية العالية .
- 7 - متطلبات الصيانة ونقلها.
- 8 - التحمل والديمومة .
- 9 - الانسجام والتكامل مع المناظر الطبيعية حول المسار ومع طبوغرافية الأرض المجاورة واستعمالها.
- 10 - تحقيق مستوى الخدمات للطلوب للمرحلة الحالية مع أخذ للرحلة المستقبلية بعين الاعتبار.
- 11 - للملاحة بين مكاسب مستعدي الطريق ومكاسب غير مستعدي الطريق.
- 12 - العوامل البيئية المختلفة .

2-5 - ضوابط ومعايير التصميم [2م] ، [8م]

من بين الضوابط والمعايير الأساسية التي يجب مراعاتها في عملية التصميم، نذكر :

- 1 - استعمالات الأراضي وشعور الاستملاك على طول مسار الطريق .
- 2 - طبوغرافية شريط الأرض الذي سيمر منه الطريق .
- 3 - جيولوجية الأرض ضمن الشريط الذي سيمر منه الطريق .
- 4 - هيدرولوجية للمنطقة للوثة على شريط الطريق المقترح وإمكانات التصريف.
- 5 - كثافة أو حركة المرور ، وتتضمن :
 - أ - معدل حركة المرور اليومية الحالية (Average Daily Traffic ,ADT, - Current) .
 - ب - معدل حركة المرور اليومية مستقبلاً (ADT, Future) .
 - ج - حجم المرور التصميمي في الساعة - مستقبلاً - في الانجاسمين (Design Hourly Volume, DHV, Future)

د - النسبة : $K = \text{DEV}/\text{ADT}$ وتراوح هذه بشكل عام بين 12% إلى 18% .
 هـ - نسبة حجم المرور في الاتجاه السائد إلى حجم المرور الكلي في الاتجاهين
 ويطلق عليها "D" وتراوح بين 55% إلى 80% من الـ (DHV) بالاتجاهين.
 و - نسبة عدد الشاحنات إلى عدد للركبات الإجمالي (T) وهي تتراوح بين (5%)
 إلى (10%) من الـ (DHV) وتبلغ حوالي (1.3%) من الـ (ADT) وعلى أي
 الأحوال فإن هذه النسب تختلف باختلاف الموقع للعتار من الطريق كما
 ألما تنطبق على الطرق الريفية الرئيسة .

6 - أبعاد ومواصفات للركبات المستخدمة للطريق (Vehicle Data) : يجري أخذ أبعاد
 للركبات التي ستمر على الطريق بعين الاعتبار. تشمل هذه الأبعاد : الطول الكلي
 للركبة، العرض الكلي للركبة، طول الجزء المتقدم من للركبة على محور المعجلات
 الأمامية وطول الجزء للتأخر من محور محلاها الخلفية، وقاعدة للركبة للسافة بين
 محاور المعجلات الأمامي ومحور المعجلات الخلفي). ومن الطبيعي أن يتم التركيز على
 نوع وأبعاد العربات الأكثر استعمالاً للطريق لأنها تشكل نسبة كبيرة من كثافة
 المرور. وعند تصميم الطرق التي ستستعملها الشاحنات، يجب أن تؤخذ بالاعتبار
 أبعاد ومواصفات أحد نوعي الشاحنات ثوابت للقطرات (WB-30 أو WB-40). ويفضل
 التأكد من قدرة أكبر شاحنة يمكن أن تستخدم الطريق على اجتياز منطقات محددة
 منه، انظر الجدول رقم (1-2) التالي .

7 - السرعة التصميمية والسرعة التشغيلية (Design and Running Speeds) :
 يقصد بالسرعة التصميمية تلك التي يمكن أن يطبقها السائق دون عطر في ظل
 المعطيات التصميمية وفي ظل ظروف مناسبة من حيث الطقس والرؤية ... إلخ.
 ترتبط السرعة التصميمية ، التي يمكن أن تتفاوت من مكان لآخر على الطريق ذاته
 بالعوامل الطبيعية التي تتصل اتصالاً مباشراً بحركة للركبات وبسبل تسيورها. من
 هذه العوامل نوع الطريق وتضاريس للمنطقة التي يمر منها الطريق. أما السرعة

جدول 2-1 أبعاد ومواصفات بعض المركبات التصميمية [AASHTO, 1994, P.21]

نوع مركبة التصميم Type of Design Vehicle	الرمز Symbol	الأبعاد بالـ					الارتفاع Height
		قاعدة المركبة Wheel Base	الجزء الأمامي من المركبة على محور المحامل الأمامية والجزء الخلفي من محور المحامل الخلفية Overhang		الطول الكلي للمركبة Overall Length	العرض الكلي للمركبة Overall Width	
			أمامي Front	خلفي Rear			
سيارة ركاب Passenger Car	P	3.4	0.9	1.5	5.8	2.1	1.3
حافلة بوحدة منفردة Single Unit Bus	Bus	7.6	2.1	2.4	12.1	2.6	4.1
شاحنة بوحدة منفردة Single Unit Truck	SU	6.1	1.2	1.8	9.1	2.6	4.1
شاحنة ذات مقطورة حجم متوسط Semitrailer (Combination), Intermediate	WB-12	4+8.2= 12.2	1.2	1.8	15.2	2.6	4.1
شاحنة ذات مقطورة حجم كبير Semitrailer (Combination), Large	WB-15	6.1+9.1= 15.1	0.9	0.6	16.7	2.6	4.1

التشغيلية فهي السرعة التي يطبقها السائق بناء على واقع الطريق وظروفه الفعلية. يقدر معدل السرعة التشغيلية بحاصل قسمة مجموع المسافات المقطوعة لعدد مناسب من المركبات ولفترة معينة على مجموع الوقت الفعلي المستغرق في قطع هذه المسافات (أوقات التوقف غير محسوبة). ويرتبط معدل السرعة التشغيلية (Average Running Speed) بأمور تصميمية متعددة مثل معدلات التعلية (Superlevation Rate) وأطوال الأجزاء الخاضعة للميول الرأسية ومناطق تقاطع المنحنيات .

8 - سعة المرور التصميمية (Traffic Design Capacity) :

تعتمد سعة المرور التصميمية على مقدار العرض المخصص لكل مسرب (Lane) ، وكثافة أكتاف الطريق (Shoulders) من حيث عرضها وملاحتها ... إلخ، ومسافة الرؤية، وكثافة الشاحنات المستعملة للطريق ... إلخ.

9 - مسافة الرؤية للتوقف الآمن (Safe Stopping Sight Distance) : [2م]

تعرف مسافة الرؤية التصميمية للتوقف الآمن بمقدار الحد الأدنى للمسافة الضرورية لتوقف مركبة تسير بسرعة تقترب من سرعة التصميم (Design Speed) دون أن تصطدم بمائق يفترض عخط سيرها (التوقف الآمن). ومن الواضح أنه قبل أن يتمكن السائق من التوقف تماماً ، يكون قد صرف وقتاً في تمييز المائق وإجراءات رد الفعل ووقتاً آخر يعتمد على مدى تجاوب المركبة ميكانيكياً وعلى طبيعة سطح الطريق إحتكاكياً. من المفيد جداً أن تكون مسافة الرؤية للتوقف الآمن محققة عند كل نقطة من الطريق وبأطول ما يمكن ولا يجوز أن تقل بحال من الأحوال عن القيم التالية للتناسبة مع سرعة التصميم ، انظر الجدول رقم (2-2) .

الجدول رقم 2-2 الحدود الصغرى لمسافات الرؤية الضرورية للتوقف

الآمن والتناسبة مع قيم مختارة للسرعة التصميمية* [AASHTO, 94, P.120]

السرعة التصميمية (كم/س) Design Speed (kph)	50	60	70	80	90	100	110	120
مسافة الرؤية الصغرى للتوقف الآمن (م) Minimum Safe Stopping Sight Distance (m)	60	85	110	140	170	205	245	285

* بالفرض ارتفاع عين السائق فوق سطح الطريق يساوي (1.07m) وارتفاع المائق فوق سطح الطريق أمام المركبة يساوي (0.45m)

10 - مسافة الرؤية للتجاوز الآمن (Safe Passing Sight Distance) : [2م]

يبين الجدول (3-2) الحدود الصغرى لمسافات التجاوز الآمن للتناسبة مع قيم مختارة للسرعة التصميمية في حالات الليول الخفيفة للطرق ذات السربين (2 - Lane High

. Ways)

الجدول رقم 3-2 الحدود الصغرى لمسافات التجاوز الآمن لقيم

مختارة للسرعة التصميمية* [AASHTO, 94, P.134]

السرعة التصميمية (كم/س) Design Speed (kph)	50	60	70	80	90	100	110	120
مسافة الرؤية للتجاوز الآمن (متر) Minimum Safe Stopping Sight Distance	345	407	482	541	605	670	728	792

* تقاس المسافة من عين السائق على ارتفاع يساوي (1.15m) فوق سطح الطريق وارتفاع أعلى نقطة من سطح المركبة القادمة يساوي (1.4m)

2- 6 المراحل الرئيسة في تصميم خطوط المسارات (Main Stages of Route Design):

يمكن تقسيم الأعمال اللازمة لإنجاز وتحقيق التصميم والإنشاء الجيد لمشروع طريق معين إلى أربع مراحل رئيسة هي : مرحلة التخطيط، مرحلة تعيين الخيارات المناسبة، مرحلة للفاضلة بين خيار وآخر، ومرحلة التصميم النهائي للمسار.

2-6-1 مرحلة التخطيط (Planning or Preliminary Location Stage) ، [م 34]

الغاية الأساسية من هذه المرحلة هي إجراء مسح شامل للمنطقة المراد إمرار الطريق

عومها ومن ثم التعرف على :

- الأجزاء الوعرة (Rough Terrain) .
- المستنقعات (Marsh Areas) .
- الأجزاء للزلزلة أو القلقة جيولوجياً (Poor Geological Foundation) .
- المناطق الحساسة التي سيستخدمها الطريق سواء بالمرور بها أو الاقتراب منها .

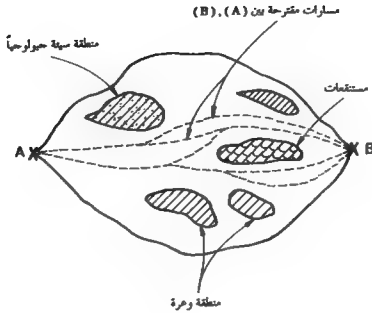
تعد هذه المرحلة من أكثر مراحل التصميم أهمية لما لها من تأثير بالغ على تكاليف تنفيذ للمشروع وصيائه في المستقبل إضافة إلى علاقتها المباشرة بتوعية واتساع الخدمات التي يقدمها الطريق وبالناتجتين الطبوغرافية والجمالية لشريط الأرض الذي يمر منه الطريق. لقد استندت أعمال التصميم في الماضي وبشكل رئيسي على العامل الطبوغرافي وبشكل أدق على العامل المتعلق بالأعمال الترابية من حفر وردم . غير أن هذا العامل، وعلى الرغم من أهميته ووجوب أخذه بعين الاعتبار ضمن معايير التصميم الحديثة، ليس العامل الأهم

في جميع الحالات إذ لابد من دراسة عوامل أساسية وحيوية أخرى تنعكس بآثارها على تكلفة الإنشاء الحالية وعلى تكلفة الصيانة في المستقبل . من هذه العوامل: جيولوجية شريط الأرض الذي سيمر منه الطريق ، هيدرولوجية للمنطقة من حيث مسالك المياه وطبيعة وكفاءة شبكات التصريف للمياه الطبيعية (الأمطار) والخدمات، توفر مواد الإنشاء كالمقالع الحجرية (لأغراض الفرشيات وصب الخرسانة لمختلف الأعمال الإنشائية) وينابيع المياه، تحقيق الجمال والراحة والأمان أثناء السير على الطريق، ونوع وحجم الخدمات المختلفة التي يمكن أن يساهم بها الطريق .

ولتأمين سلامة التخطيط من حيث تحقيق مختلف أهداف التصميم الضرورية للمتمثلة في الوفر الاقتصادي والجمال والراحة والأمن ، ينبغي الاستعانة بشقي أنواع الصور والخرائط والتقارير والمعلومات المتوفرة للشريط الأرضي الخاص بمشروع الطريق (أو مخطط المواصلات أو للمسار موضوع الدراسة). وكما ذكرنا آنفاً، لابد من إجراء زيارات ميدانية واستطلاعات على الطبيعة.

بالنسبة للمقاييس المناسبة للصور والخرائط المستخدمة في هذه المرحلة فهي متفاوتة حسب تضاريس المنطقة واستعمالها. بشكل عام يمكن القول أن هذه المقاييس تكون عادة أصغر من (1 : 50 000) ، وفيما يتعلق بالفترة الكنتورية للخرائط المستخدمة في هذه المرحلة فهي لا تعتمد على الدقة للنشودة لهذه المرحلة وعلى مقاييس الخرائط المستخدمة فحسب وإنما تعتمد أيضاً بشكل أساسي على تضاريس المنطقة التي تغطيها الخرائط (درجة انحدار سطح الأرض). وبالنسبة لعرض المنطقة التي يجب أن تشملها الدراسات الطبوغرافية والجيولوجية والهيدرولوجية في هذه المرحلة فتتراوح بين (0 4) إلى (0 6) من طول المسافة بين نقطتي بداية المسار المقترح ونهايته. وبالتالي فإن هذا العرض قد يتراوح بين بضع كيلومترات إلى عشرات (وأحياناً أكثر بكثير) الكيلومترات وفقاً لتضاريس جيولوجية وهيدرولوجية للمنطقة وكثافة وأهمية الخدمات والاستعمالات المتوفرة أو للتوقع توافرها إضافة بالطبع إلى نوع وأهمية وموازنة المشروع للنوي تنفيذه، شكل (1-2) .

نبين في الشكل (2-2) تسلسل الأعمال الرئيسة التي تشتمل عليها مرحلة التخطيط.



شكل 2 - 1 استثناء المناطق الصعبة طبوغرافياً والثقافة
 جيولوجياً والمزقة أو السببة هيدرولوجياً في الشريط الممتد بين
 نقطتي (A) و (B) ويمرض لد يصل إلى حوالي (0.4) إلى (0.6)
 من الطول AB لغايات شق طريق عبر هذا الشريط



شكل 2 - تسلسل الأعمال الرئيسة في مرحلة التخطيط

2-6-2. مرحلة تعيين الخيارات المناسبة (Determination of Feasible Routes Stage) :

يجري في هذه المرحلة التعرف على الخيارات الممكنة وللمناسبة وتعديدها (All Feasible Route Alternatives) من خلال دراسة الخرائط والصور الجوية للتوافرة بشكل أكثر دقة وتفصيلاً من تلك التي استُخدمت في المرحلة الأولى - مرحلة التخطيط. تشمل هذه الدراسة على الاعتبارات الطبوغرافية والجيولوجية والهيدرولوجية إضافة إلى نوع وحجم الخدمات التي يمكن أن يقدمها كل خيار مقترح. تعتمد للقائيس المناسبة للصور والخرائط المستخدمة في هذه المرحلة على تضاريس للمنطقة من حيث درجة الوعورة وعلى كثافة ونوع الاستعمالات والخدمات المتوفرة. جدير بالملاحظة أنه كلما ازدادت وعورة المنطقة وانخفضت استعمالاتها صغر مقياس الرسم ، بينما يزداد المقياس مع لزيادة كثافة الاستعمالات ونقصان الليل في سطح الأرض الطبيعية. فيما يلي بعض للقائيس التي يمكن الأخذ أو الاستئناس بها.

- (1/25000) إلى (1/60000) للمناطق الريفية والوعرة ذات الاستغلال للمعلوم أو المعلوم.
- (1/18000) إلى (1/25000) للمناطق الريفية ذات الاستغلال والاستعمالات الكثيفة بغض النظر عن طبوغرافية الأرض .
- (1/6000) إلى (1/20000) للمناطق الحضرية .

ينين في الشكل (2-3) تسلسل البنود الرئيسة التي يجري عادة إنجازها في مرحلة تعيين الخيارات المناسبة .



شكل 2 - 3 تسلسل لأهم البنود المشاركة في مرحلة تعيين الخيارات المناسبة

2-3-6 مرحلة المفاضلة بين خيار وآخر :

يتم في هذه المرحلة دراسة تفصيلية لكل من المسارات للمختارة (مع نهاية المرحلة الثانية) بعد أن تم تحديدها ورسمها على الخرائط والصور وذلك لفيايات للمفاضلة بين خيار وآخر . من العناصر الأساسية لعملية للمفاضلة ، نذكر :

- التكاليف للمنتومة وهذه تحتاج إلى معرفة :

- * طول للمسار .
 - * نفقات الاستملاك (للأراضي للمتنطعة) .
 - عدد وأبعاد المتنطعات للمالية .
 - * تواجد ووفرة للمقالع للمجرية للمناسبة من حيث النوعية والموقع .
 - * مصادر للمياه (مدى قربها ومفرها) .
 - * محروم ونفقات الأعمال للمترابية .
 - * نفقات المخروقات (وفقاً للمسافة والميول الرأسية للملازمة) .
 - * حجم وأهمية للمخدمات التي سينسب بها للمسار للأراضي للمخاذبة ومالكها ومستعملها .
 - * نفقات الصيانة للمستقبلية (تعتمد هذه إلى حد كبير على الخصائص للميوتكنيكية لشريط الأرض من حيث الثبات ودرجة أو قوة التحمل كما تعتمد على الخصائص للميودولوجية للمنتطقة من حيث مدى قدرتها على تصريف للمياه المسطحية والمباطنية) .
 - * مستوى للمخدمات للمروية التي يتميز بها للمسار من حيث توفير الراحة والأمن .
 - * ملائمة وتجانس للمسار مع للمخطط الطبوغرافي والمبيئة العامة للمنتطقة ومدى ما يضيفه للمسار إلى أسباب الراحة والسياحة والمجمال العام للمطبيعي ... إلخ .
- فيما يتعلق بالذقة المطلوبة لهذه للمرحلة فلا حاجة أن تكون عالية ويمكن استعمال أدوات لمجسيم بسيطة . وبالنسبة للمخططات والمخرائط والصور الجوية لهذه للمرحلة فهي بمحدود (1/5000) إلى (1/10000) للمخرائط وبمحدود (1/5000) إلى (1/25000) للمصور الجوية .

إن استخدام الصور الجوية في هذه المرحلة أصبح شائعاً وبخاصة لدى المؤسسات الكبرى التي تعنى بشئون تصميم وتنفيذ شبكات الطرق والمسارات الأخرى على نطاق واسع. نبين فيما يلي ملخصاً للخطوات الأساسية التي يمكن إتباعها عندما يكون للمسار (أو أجزاء كبيرة منه) واقعاً في مناطق مفتوحة (مكشوفة نسبياً) وغير آهلة بالسكان والخدمات والعالم الاصطناعي الكثيرة :

- اختيار شبكة من نقاط تغطي شريط الأرض للعتبر الذي يمتاز به كل من المسارات المختارة في المراحل الأولى من التصميم وذلك باستخدام الصور الجوية .
- قياس إحداثيات ومناسيب نقاط الشبكة وتسجيلها أتماتيكياً على أشرطة أو أقراص مخزنة مناسبة. بهذا يصبح شريط الأرض ممثلاً بنموذج أرضي رقمي (Digital Terrain Model).
- إعداد برامج التحويل والحساب والتصميم للنسبة لمقاييس حساب الكميات وإخراج المعلومات اللازمة لأغراض المفاضلة بين خيار وآخر .

من الطبيعي أن دور المساحة الجوية والأدوات والبرامج والوسائل للتقدمه يصبح ثانوياً عندما يراد تصميم طريق عبر شريط أرضي مكثف بالمباني والخدمات ومختلف للعالم البارزة. ذلك لأن المصمم في مثل هذا الوضع لا يتوقف كثيراً عند التكاليف والنفقات والظروف والشروط الفنية والطبوغرافية (وما إلى ذلك) بقدر ما يتوقف عند مدى الحاجة لخدمة وتلبية الاحتياجات الملزمة والتعليمية والصحية والاجتماعية وغيرها من الضوابط السكانية والخدماتية الملحة وذات الأولوية .

2-6-4 مرحلة التصميم النهائي للمسار :

في هذه المرحلة يأتي دور عمل المخططات التفصيلية اللازمة لأغراض التصميم النهائي والتنفيذ الميداني للمسار المعتمد . كما ذكرنا آنفاً تكون مقاييس المخططات (1/1000) إلى (1/2000) مشتقة من صور جوية (يمكن فعل ذلك بالطبع) مقاييس (1/4000) إلى (1/8000) على الترتيب ، تقريباً . يمثل هذه المقاييس يمكن استخدام أو اختيار وتحقيق فترة كتورية تتراوح بين (0.5m) إلى (2.5m وربما 5m أحياناً) بدقة تتراوح بين (0.2m) إلى

(0.5m) تقريباً. أما الدقة الممكن تحقيقها في قياس المسافات الأفقية فهي محدود (10cm) إلى (0.35m) .

7-2- دور المساحة الجوية في أعمال تخطيط وتصميم الطرق

تألف للمساحة الجوية ، ومنذ عدة عقود، دوراً بارزاً في أعمال تخطيط وتصميم مشاريع الطرق. فللمهمة الأساسية للمساحة الجوية، أو للمساحة التصويرية الجوية (Aerial Survey) هي إنتاج للمخططات والخرائط للتنوع (طبوغرافية، جيولوجية، هيدروlogية .. إلخ) من خلال الصور الجوية وأجهزة التحميم والرسم المتخصصة والتنوع. وقد سبق أن ذكرنا وبيننا بالتفصيل في الفقرات السابقة أهمية هذه الخرائط لمختلف مراحل التخطيط والتصميم لمشاريع الطرق. يبين الجدول (4.2) مقاييس الصور الجوية التي يمكن استخدامها لإنتاج للمخططات والخرائط الطبوغرافية للتنوع التي يستند إليها في الدراسات الأولية والنهائية لمشاريع الطرق.

جدول 2 - 4 مقاييس الصور الجوية التي يمكن استخدامها

لإنتاج المخططات والخرائط الطبوغرافية المتنوعة، [م 5]

المرحلة	مقياس الصور الجوية (تقريباً)	مقاييس للمخططات والخرائط	الفترة الكتورية (m)	الدقة المتوقعة* في المناسيب (m)
التخطيط والدراسة الأولية	1 : 25000	1 : 10000	5 - 10	1 - 1.5
	1 : 100000	1 : 50000	10 - 25	2 - 5
التصميم الأولي	1 : 15000	1 : 5000	2 - 10	0.5 - 0.8
	1 : 25000	1 : 10000	5 - 10	1 - 1.5
التصميم والدراسة النهائية	1 : 4000	1 : 1000	0.5 - 1	0.2 - 0.3
	1 : 8000	1 : 2000	1 - 5	0.3 - 0.5
	1 : 10000	1 : 2500	1 - 5	0.3 - 0.5

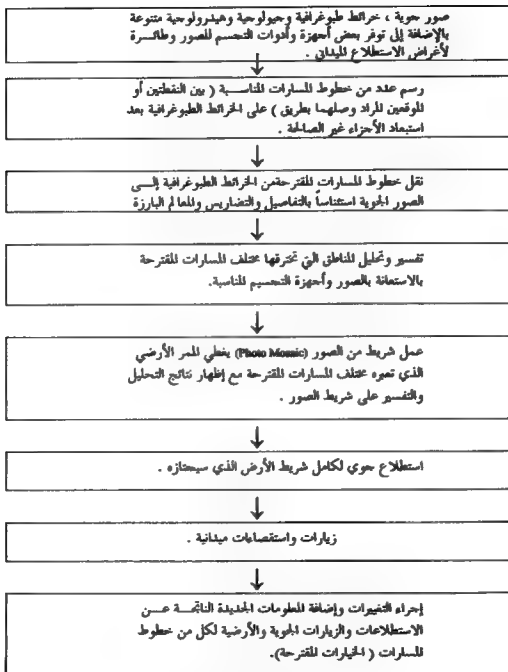
* تقدر الدقة للترسيم في المناسيب المستخرجة من منصفات للمساحة الجوية بمحدود (Z 0.0003) حيث ترمز (Z) للارتفاع الطوائف [م 5]

وبالإضافة إلى كون الصور الجوية أساس عمل للمخططات والخرائط المتنوعة فإنه يجري أيضاً استخدامها في تقسيم الظواهر الطبيعية والاصطناعية واستنباط الحجم المائل من المعلومات الجيولوجية والهيدروlogية ودراسة الخدمات والتوزيعات السكانية وغيرها وذلك من خلال التخصصين في المجالات المختلفة والاستعانة بأجهزة التحسيم المتنوعة .

يبين الشكل (2-4) مجال استخدام الصور الجوية ، إلى جانب الخرائط المتنوعة ، في الدراسات الأولية للتعلاقة بتعيين الخيارات المناسبة لطريق معين . من هذا الشكل يمكن استخلاص الملاحظات التالية :

أ - إن دراسة الخرائط الطبوغرافية والجيولوجية والهيدروlogية إلى جانب الصور الجوية أمر هام حيث يكمل بعضها الآخر ، فالخرائط من ناحية تزويد المصمم بما يلزم من معلومات مترتبة (أبعاد وكميات) والصور الجوية بدورها تقدم للمعلومات النوعية (هوية التفاصيل ، وتميزها وبيان أنواعها وعناصرها) حول التربة من حيث طبيعتها الزراعية والجيولوجية وحول ما على سطح الأرض من تفاصيل (مهما كانت صغيرة ، نسبياً) وما يجري عليها من أقمار وحلول ووديان (حقي ولسو كانت ضيقة ، نسبياً) ... إلخ .

ب - إن استخدام الطائرة في استطلاعات ميدانية لمنطقة للمشروع من شأنه أن يساعد المصمم في التعرف على التفاصيل والطبيعة البيئية والسياحية والهيدروlogية والخدمات التي تحيط بكل خيار مع إمكانية الربط بين هذه العناصر . يؤدي هذا بدوره إلى اعتماد بعض الحلول أو الخيارات المقترحة ومن ثم يتيح التركيز في التحليل والاستقصاء على عدد أقل من الخيارات . بالطبع لابد من زيارات ميدانية لمواقع مختارة (وخصوصاً تلك للمواقع الحرجة أو المشكوك في هويتها وقتاً لما أشارت إليه الاستطلاعات الجوية) لفيات التحقق والاستقصاء . كذلك فإن الاستطلاع لليلاني بوسائل برية وجوية وزيارات حقلية مباشرة يفيد أيضاً في التعرف على حاجة للمنطقة وأهليتها لمشاريع تنمية مختلفة . جدير بالذكر أيضاً أن الاستطلاع لليلاني يمكن تكراره عدة مرات قبل أخذ الصور وفي أثناء تحليل الصور ودراسة الخرائط وبعدها .



شكل 2 - 4 استخدام الصور الجوية إلى جانب الخرائط في الدراسات الأولية لتصميم طريق معين

يمكن تلخيص فوائد أعمال الاستطلاع الميداني بالأمور التالية :

- الدراسة عن قرب للمواقع الحرجة والحساسة (مناطق الانزلاق، مواقع للمستعقبات والاختناقات للآلية، ... إلخ).
- التعرف على نوع واستعمالات الأراضي المجاورة للمسارات المقترحة، وشدة الرياح وتكرارها واتجاهها، احتمالات حدوث إنسدادات وإنفلاقات مروية، وجود مسيلات فيضائية .
- التوفيق بين ملائمة المسار المقترح للشروط الطبوغرافية المحيطة وبين أسعار واستعمالات الأراضي والخدمات الحالية والمستقبلية .
- استخدام أجهزة التحسيم البسيطة (جهاز التحسيم الجيبي Pocket Stereoscope على سبيل المثال) والصور الجوية لإضافة أية تعديلات أو معلومات جديدة تفرزها عملية الاستطلاع الميداني.
- إن الغاية الأساسية من تفسير وتحليل الصور الجوية بالاستعانة بأجهزة التحسيم المتنوعة هي التعرف على العناصر الأساسية التالية المتعلقة بكل خيار أو مسار مقترح :
- طبيعة التربة التي سيمر بها للمسار، ونقص طبيعة التربة هنا درجة ثباتها وقابليتها للإنزلاق.
- الممرات للآلية التي سيحتازها كل مسار ويبان عددها وأبعادها وجيولوجيتها والأحوال للقلية لها .
- نوع وطبيعة استعمالات الأراضي التي سيقطعها كل مسار وأثر هذا الاقتطاع على الأراضي المقطوع منها.
- مدى توفر وكفاءة شبكات التصريف على كامل طول الشريط الأرضي الخاص بكل مسار أو خيار.
- مدى تأثير تنفيذ كل مسار من المسارات المقترحة على البيئة (قرب للمسار من المستشفيات والمدارس والحدائق العامة .. إلخ)، وأثر ضجيج ودخان السيارات على مثل هذه الأماكن الحيوية والحساسة ومدى حاجة هذه الأماكن إلى الخيار أو للمسار المقترح وهل هذه الحاجة تفوق أو تبرر وجود الضرر البيئي بتنفيذ للمسار؟

- فروق الارتفاعات والانحناءات (الميل الرأسية) لمختلف أجزاء الشريط الأرضي على طول كل من الخيارات للقرحة .
- مستوى وأهمية وحجم الخدمات للنظرة والمستقبلية التي يتوقع أن يوفرها كل من الخيارات للمكنة.
- د - إن لصق (أو الإشارة إلى) للمعلومات المستخلصة من خلال الفحص التحسيني للصور ومن الزيارات الميدانية ومن أية مصادر أخرى، على الصور الجوية يساعد بشكل فاعل في تمييز الخيارات للقرحة وللمفاضلة بينها .
- هـ- بملاحظة المعلومات الطبوغرافية والجيولوجية والهيدرولوجية .. إلخ للمضافة على الصور بمساعدة أجهزة التحسين المناسبة، يجري رسم خطوط للمسارات المناسبة بين النقطتين أو للوقفين المراد وصلهما بطريق .
- و - في الحالات التي لا تتوفر فيها خرائط طبوغرافية و/أو خرائط جيولوجية وهيدرولوجية، فإن الحاجة إلى استخدام الصور الجوية والخرائط التصويرية (Photo Maps) تصبح أكثر إلحاحاً. ذلك لأن الصور الجوية تصبح المصدر الرئيسي للمعلومات بشقيها للتربة (أبعاد وإحداثيات... إلخ) والتفسورية (معلومات حول جيولوجية وهيدرولوجية وطبوغرافية شريط الأرض المعترى بما في ذلك التحريات حول مواقع الثروات المعدنية وللقلاع الحربية والبنائيج للمائية وإمكانات المنطقة الزراعية والصناعية والسياحية.. إلخ).
- ز - كلما كانت المنطقة التي سيمر منها الطريق مشكوفة (صحراوية، ريفية شبه خالية من الخدمات الكثيفة) كلما ازدادت فاعلية استخدام الصور الجوية في دراسة شريط الأرض للمعمر.

2-7-1 حالة عدم توفر الخرائط واعتماد الطرق الفوتوغرامترية في التخطيط والتصميم:

في الحالات التي لا تتوفر فيها خرائط مناسبة، يمكن اللجوء إلى الطرق الفوتوغرامترية للقيام بكافة (أو على الأقل معظم) أعمال التخطيط والتصميم لمشاريع الطرق. تلتخص هذه الطرق الفوتوغرامترية بإثبات أربع مراحل رئيسة نلخصها على النحو التالي :

1 - مرحلة الاستطلاع الشامل لكامل منطقة المشروع (Reconnaissance Survey of the Entire Project Area)

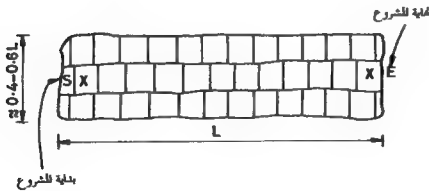
يتم في هذه المرحلة إنجاز البنود الأساسية التالية :

أ - تصوير منطقة المشروع بمقياس صغير نسبياً ($1/18000$ أو $1/25000$ أو حتى $1/50000$) ، شكل (5-2) .

ب - فحص مجسم (Stereoscopic Examination) للصور بالاستعانة بأدوات التجسيم المناسبة من نوع جهاز التجسيم ذو المرآيا (Mirror Stereoscope) ، بهدف التعرف على شريط للمشروع بشكل عام ومبدئي.

ج - فحص مجسم للصور ذاتها بشكل أدق وأكثر تفصيلاً لغايات التأشير على شقائغيات مناسبة (ملصقة بالصور أثناء عملية الفحص المجسم) للمواقع التي يعتقد أنها حيوية ويتوجب إمرار الطريق عبرها أو بجوارها، وكذلك للمواقع السية (جيولوجيا أو / و هيدرولوجياً) وللمواقع الصعبة وللكلفة (ذات تضاريس صعبة تتطلب أعمال حفر وردم وحماية مكلفة) والتي يتوجب تجنبها.

د - الآن وبعد استقصاء وتحسس المواقع المناسبة من غير المناسبة لاعتبارات كثيرة متنوعة سبق الإشارة إليها أعلاه (وفي فقرات وبنود سابقة أيضاً) يجري التوقيع على الصور الجوية لمختلف الخطوط أو المسارات الممكنة والمناسبة.



شكل 2-5 صور جوية تغطي كامل منطقة شريط الأرض المتوي بإمرار الطريق عبره، بمقياس صغير وتغطية أمامية وجانبية ومواصفات تحقق شروط التجسيم لكامل الشريط

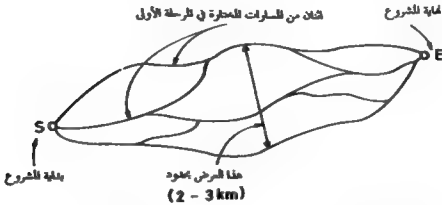
2 - مرحلة استطلاع الخيارات الخاصة (Reconnaissance Survey of Possible Routes) :

يجري في هذه المرحلة استطلاع كل من المسارات المحتملة، أي تلك التي وجدت ذات جدوى، بهدف إنتاج الأمور التالية :

أ - التقاط صور بمقياس كبير نسبياً ($1/10000$ أو $1/12500$ أو $1/15000$)، على سبيل المثال) تغطي كل شريط من أشرطة للمسارات المحتملة في المرحلة الاستطلاعية السابقة.

يكون عرض هذه الأشرطة عادة ما بين (2 km) إلى (3 km) ، شكل (2-6) .

ب- فحص تجسيمي تفصيلي لأزواج الصور المتتالية الخاصة بكل مسار أو خيار والتأثير على شفافيات مناسبة لكافة الضوابط والواقع وللعالم الطبيعية البارزة سواء كانت من للرغوب فيها أم من غير للرغوب فيها (مواقع طبوغرافية أو خدمية أو جيولوجية أو هيدرولوجية أو بيئة أو ربما مواقع أجزاء يصعب استملاكها .. الخ).



شكل 2-6 التقاط صور جوية بمقياس كبير تغطي كل مسار

من المسارات المحتملة بعرض كاف

ج- إنتاج مخططات وخرائط متنوعة من الصور الجوية بالوسائل الفوتوغرامترية لأي

جزء من أي من المسارات المحتملة وحسبما يلزم ذلك .

د - التوقيع على الصور والخرائط (التحجج منها بالطرق الفوتوغرامترية) للمسارات

للمحتملة وحسبما يلزم ذلك .

هـ- إجراء دراسة مقارنة ومفاضلة بين هذه للمسارات .

و - انتقاء المسار أو الخيار الأفضل استناداً إلى الضوابط والمعطيات التي تم جمعها وتحليلها ودراستها (Selection of the Best Route) بشكل تفصيلي. ولا بد للفريق للمصمم من القيام بتحليل ودراسة كافة العناصر الهندسية لكل مسار وذلك في الوضعين الأفقي والرأسي (Horizontal and Vertical Geometrics) استناداً إلى معلومات الخرائط والصور للقمرية بأدوات التصميم المناسبة. ومن الطبيعي أن يكون للحاسوب والبرامج الحاسوبية الخاصة دور بارز هنا في عملية الدراسة والمقارنة وصولاً إلى الخيار الأفضل .

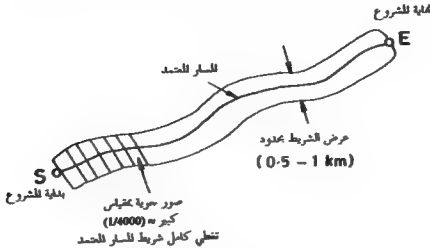
3 - المسح الأولي للخيار المحدد (Preliminary Survey of the Selected Route)

يتم هنا إنجاز البنود الرئيسة التالية :

أ - عمل مخططات بمقياس كبير [يتراوح عادة بين (1/1000) إلى (1/2000)] للمسار للمحدد وذلك إما من خلال صور جوية بمقياس = (1/4000) ، أو من خلال طرق للمساحة الأرضية (بعد نقل أو توقيع شريط للمسار للمحدد إلى الطبيعة استناداً بالصور الجوية التي سبق أن رسم عليها هذا المسار في المرحلة الثانية)، شكل (7-2) .

ب - إنجاز البنود التصميمية والحسابات للمخطة المتعلقة بالمقاطع العرضية والطولية للمسار للمحدد. يتم هذا إما من خلال للمخططات والخرائط الطبوغرافية، أو من خلال فحص الصور الجوية بواسطة أجهزة الرسم والتصميم الفوتوغرامترية (يسمى البعض "أجهزة إعادة الخُرْم Stereoplotters). لاحظ أنه أصبح من الشائع في وقتنا الحاضر استخدام الوسائل الفوتوغرامترية لعمل مخططات طبوغرافية دقيقة بشكل كاف لشريط الأرض المحدر. إن أهمية الطرق الفوتوغرامترية في إنتاج مثل هذه للمخططات تكمن في سرعتها وسهولتها وانخفاض تكلفتها مقارنة بطرق المساحة الأرضية التقليدية . يعود السبب في ذلك إلى أن معظم أعمال الحقل للبيداتية لطرق المساحة الأرضية تحول إلى أعمال مكتبية وبمشاركة الحاسوب. من شأن هذا أن يقلل بشكل محسّن من التكلفة والوقت اللازم. جدير بالملاحظة هنا أن جميع الطرق الفوتوغرامترية للشار إليها أعلاه (قديمها وحديثها) تستند أساساً إلى

عدد من نقاط الضبط أو التحكم الأرضية (Ground Control Points) - من المعروف أن هذه النقاط (الرجعية) يجري قياس أو تعيين إحداثياتها بدقة بطرق للمساحة الأرضية



شكل 2 - 7 عمل مخططات طبوغرافية واستنباط المعلومات
الخربة المتعددة للمسار المحدد في نهاية المرحلة التالية

(طرق التقاطع الأمامي والمكسي والضلعات، على سبيل المثال، بالنسبة للإحداثيات الأفقية وطريقة التسوية العادية المباشرة Ordinary Levelling بالنسبة للمناسيب). كذلك لابد أن تظهر (وبشكل واضح) هذه النقاط على الصور الجوية المستعملة في إنتاج الخرائط واشتقاق مختلف الأبعاد والمعلومات للترتبة المتنوعة. بالنسبة لعدد هذه النقاط للرجعية (البعض يسميها "نقاط التوجيه" حيث يجري من خلالها توجيه الحزم الضوئية Bundles of Rays للصورتين التجميعيتين توجيهاً نسبياً Relative Orientation وتوجيهاً مطلقاً Absolute Orientation قبل بدء الرسم واشتقاق المعلومات للترتبة للترتبة) التي يتوجب ظهورها في الجزء المشترك بين كل زوج تجسمي من الصور الجوية فهو أربع نقاط على الأقل مطومة الإحداثيات والمناسيب (أو ثلاث نقاط مطومة الإحداثيات الأفقية وخمس نقاط مطومة للمناسيب) موزعة في الأطراف ما أمكن. تكون هذه النقاط بمسلسلة في

الطبيعة على شكل اسطوانات أو مكعبات غرساتية مؤشر عليها بدهان أبيض أو عاكسة بلوحات بيضاء خاصة بأبعاد (25 cm × 25cm) أو (50 cm × 50 cm) ليسهل رؤيتها على الصور من خلال الأجهزة التحسسية .

ملحوظة :

بالإضافة إلى إنتاج للمخططات والخرائط الطبوغرافية بالوسائل الفوتوغرامترية، يمكن أيضاً قياس أو استنتاج وتسجيل لارتفاعات النقاط الواقعة على للقاطع العرضية للمسار للتمد باستعمال أدوات مساحة جوية خاصة ملحقة بأجهزة الرسم الفوتوغرامترية ، على سبيل المثال الأداة للسماء " Profiloscope " .

4 - مرحلة التوقيع على الطبيعة للمسار المتمد

(Location Survey and Staking of the Highway Elements)

تتعلق هذه المرحلة بتعيين حدود الاستملاك (Right of Way) لمسار الطريق للمتمد وتوقيع عناصر الطريق الرئيسة على الطبيعة بما في ذلك العناصر الانشائية الخاصة بمواقع وحدود المنشآت المائية وأوتاد للناسيب والمنحنيات والتقاطعات والتفصائل الأخرى المتعددة .

مسائل

- 1-2 تتحوّل المرحلة الاستطلاعية مرحلة البحث عن المعلومات ، ما هي مصادر هذه للمعلومات ؟
- 2-2 على ماذا يعتمد نجاح الاختيار لمسار من المسارات المقترحة ؟
- 3-2 ما هي العوامل المقيّدة (Constraints) للمصمم في بحثه عن الخيارات المناسبة لمسار طريق معين؟
- 4-2 ما هي الأمور الأساسية التي يتوجب على هيئات ومؤسسات التخطيط لشبكات الطرق القيام بها قبل الإيجاز ببدء الدراسات الاستطلاعية لمشروع طريق معين ؟
- 5-2 رتّب للراحل الأساسية لإنجاز مشروع طريق معين . .
- 6-2 أذكر الخطوات المبرّزة للمرحلة الاستطلاعية (Reconnaissance Stage) .
- 7-2 ما هي أهم الأمور الأساسية المتعارضة التي يتوجب على المهندس للمصمم أن يوفق بينها ؟
- 8-2 ما الذي يتوجب عمله في غياب الخرائط الأساسية (Base Maps) لمنطقة للمشروع ؟
- 9-2 ما هي أهم العوامل للثورة في المرحلة الاستطلاعية ؟
- 10-2 أذكر ثلاثة من أهم العوامل للثورة بشكل رئيسي على زيادة التكلفة للأعمال الترابية في مشاريع الطرق ؟
- 11-2 علّق على أهمية دراسة الخرائط الجيولوجية والهيدرولوجية وخرائط التربة في مشاريع الطرق.
- 12-2 علّق على دور كل من :
حقّ للزور (Right-of-Way)
الصيانة المستقبلية (Future Maintenance) ، في زيادة تكاليف إنشاء مشاريع الطرق .
- 13-2 ما هي الأمور التي يتوجب على الفريق للمصمم مراعاة مصلحة الجمهور فيها قبل اتخاذ القرار النهائي بشأن مسار معين يمرّ هو أو يحول مناطق حضرية ؟

- 2-14 عدّد أنواع الخرائط الأساسية التي تساهم في تشكيل قاعدة عامة للبيانات التي يستند إليها في مختلف مراحل التصميم وعصوفاً في مرحلة الاستطلاع والدراسة الأولية .
- 2-15 لماذا نتصح في ميل استغلال لكافة للمومات المجمعة خلال مراحل التخطيط والدراسة الأولية والتصميم ؟
- 2-16 ما هي تكلفة إنتاج خطط مساحي طبوغرافي مقياس (1/1000) بوسائل للمساحة الفوتوغرافية؟
- 2-17 أذكر مزايها استخدام للمخططات والخرائط الطبوغرافية في أعمال تخطيط وتصميم مسارات الطرق ؟
- 2-18 أذكر مزايها استخدام الصور الجوية والخرائط الصورية في أعمال تخطيط وتصميم للمسارات .

- 3 -

المراحل المساحية الرئيسية

في تصميم الطرق

**SURVEYING STAGES OF
ROAD DESIGN**

3 - المراحل المساحية الرئيسة في تصميم الطرق :

3-1 - مقدمة :

تشتمل الأعمال المساحية التي تتطلبها دراسة طريق معين على المراحل الرئيسة التالية :

- أعمال استطلاعية لغايات التعرف على شريط الأرض الذي سيمر عبره الطريق موضوع الدراسة بالإضافة إلى تحديد مواقع النقاط للمساحية المرجعية (مناسب وحداثيات أفقية) ضمن أو بجوار شريط الأرض هذا .
 - أعمال مساحية أولية تؤدي إلى وضع مخططات شاملة تؤدي إلى اختيار محاور أولية وغو لغاية لغايات للفاضلة بين محاور وآخر .
 - أعمال مساحية لغاية ودقيقة عمدة .
- وفيما يلي شرح مفصل لهذه المراحل الثلاث :

3-2 مرحلة الأعمال الاستطلاعية (Reconnaissance Studies) :

تتلخص الغاية من هذه المرحلة في تحديد شريط (أو أكثر من الأرض) يحقق غايات وأهداف الطريق الفنية والاقتصادية. يتم هذا بالقيام بجولات استطلاعية متعددة لفريق من المهندسين للتخصصين باستعمال المركبات المناسبة وفي أحيان كثيرة طائرة مروحية (حسب أهمية الطريق وطبيعة المنطقة الطبوغرافية)، بالإضافة إلى السير على الأقدام وركوب الخيل في بعض الأجزاء الصعبة... إلخ . ومن للمساعد وللهم جداً اصطحاب الخرائط للتوفر للمنطقة وكذلك الصور الجوية وبعض أدوات التجسس للناسب لغايات تسهيل عملية التعرف على الطبيعة. من شأن هذا كله أن يعين في البحث على الطبيعة عن الأماكن المناسبة لمرار الطريق منها وللفاضلة بين خيار وآخر [34] .

من الأمور التي يتوجب استنساخها في هذه المرحلة، الأهمية الاقتصادية للطريق، الخدمات التي يقدمها الطريق أو/ وساهم في تطويرها، للزبا السياحية والبيئية، ميول الأرض التي سيجتازها الطريق، الأعمال الإنشائية التي سيتطلبها للمشروع، بالإضافة إلى معلومات فنية (جيولوجية وهيدرولوجية) يمكن استنباطها من الخرائط والصور الجوية

للتوفرة وربما أيضاً من التقارير الفنية والبيانات الإحصائية المتعددة التي قد تتوفر عن منطقة المشروع وللشاريع للشاهمة أو/ و المجاورة .

إن مثل هذه التحريات الميدانية قد تقود أو تؤدي إلى تحديد شريط أو أكثر يوصي القيام بإجراء مسح طبوغرافي شامل لها بهدف إنتاج للمعطيات وللقاطع والرسومات والجدول للمعلومات المختلفة والتي يتم على أساسها (بالدراسة والتحليل والمقارنة) اختيار محور للمشروع النهائي . يصار عادة إلى وضع علامات مناسبة على المحاور التقريبية للمقترحة للطرق الممكن إمرارها من هذه الأشرطة .

اختصاراً وتسهيلاً وزيادة في فعالية مرحلة الأعمال الاستطلاعية هذه، يلجأ للمهندسون المصممون عادة إلى البحث عن كل ما يتوفر من خرائط وصور جوية وتقارير ومعلومات حول المنطقة المراد إمرار الطريق منها للإستناد إليها في إجراء دراسة أولية تؤدي ربما إلى حلول واقتراحات تقريبية لمسار الطريق . تكون مقاييس الخرائط والصور الجوية المطلوبة في هذه المرحلة صغيرة ، أي : 1/50 000 وأصغر .

من بين للمعلومات الأساسية التي يمكن استنباطها من الخرائط والصور (ذات المقاييس الصغيرة) في هذه المرحلة الاستطلاعية ، نذكر [45] :

- لليول من خلال خطوط الكتور .
- الأجزاء التي لا تحتاج إلى استطلاع ميداني لثبات عدم صلاحيتها لمرور الطريق منها (مستنقعات، انحدارات شديدة ، قابلية عالية للانزلاق، وعورة شديدة، وغوها من الأجزاء غير الصالحة فنياً لإمرار الطريق منها .
- مواقع المزارع بمختلف أشكالها (الأنبوبة والصندوقية، منفردة ومتعددة .. الخ) والجسور لاجتياز الوديان والأنهار .
- الشريط أو الأشرطة المطلوب استطلاعها على الطبيعة ومن ثم إجراء للمسح الطبوغرافي الشامل لها لاستطلاع أو بالأحرى لاختيار المحاور وللقاضلة فيما بينها بهدف الوصول إلى المسار أو المحور النهائي.

- بعد توفر للمعلومات الأولية للمستقاة من الخرائط والصور الجوية بالإضافة إلى مصادر للمعلومات الأخرى والتي تمثل مجملها مرشداً ودليلاً أولياً في عملية الاستطلاع الليناني.

من خلال عملية الاستطلاع الليناني (التي تعقب أعمال الدراسة للمكنية للخرائط والصور ومصادر للمعلومات الأخرى كما ذكرنا آنفاً)، يمكننا تحقيق الأمور التالية :

- حذف ، إضافة، تعديل، تصحيح أية معلومات مستقاة من الخرائط والصور تتناقض مع واقع الحال على الطبيعة .

- تحديد بشكل أدق للشريط أو للأشرطة التي يتوجب إجراء مسح طبوغرافي شامل لها. يراعى تخطيط حدود هذه الأشرطة على خريطة أو صورة (أو مجموعة صور على شكل خريطة تصويرية (Photo Map) مقياس صغير إذا كانت متوفرة.

- تقدير الليول بشكل أدق باستخدام أدوات بسيطة مثل الكلينوميتر أو الابني ليفل (Abney Level).

- البحث عن نقاط الضبط الأفقية والرأسية (أي النقاط الجيوديسية معلومة الاحداثيات والناسيب للتوفرة ضمن أو/ وبجوار الشريط أو الأشرطة المقترحة أو للمكنة لغايات تدقيق الأعمال للمساحية الأولية والنهائية اللاحقة وكذلك لربط احداثيات مخططات الطريق بإحداثيات الشبكة العامة للدولة. في عملية البحث عن هذه النقاط ، يستعان بدوائر المساحة الرسمية ذات العلاقة لاستلام أرقام وكروكيات (Sketches) وعناوين ومواقع وإحداثيات هذه النقاط بالإضافة إلى أية معلومات أخرى قد تساعد في البحث عن والتحقق من هذه النقاط للرجعية (Horizontal and Vertical Control) .

في أغلب الأحيان ، تكون النقاط للمساحية للرجعية (نقاط الضبط الأفقية والرأسية للأعوذة من دوائر للمساحة الرسمية) قليلة أو/و بمعدة عن الشريط (أو الأشرطة) المقترح. من أجل ذلك يلزم تكثيف هذه النقاط وذلك بإنشاء مجموعة كافية من النقاط على طول الشريط استناداً إلى النقاط للمساحية للرجعية (الجيوديسية البعيدة نسبياً) [44c]

يجري اختيار أماكن نقاط الضبط الأفقية في مواقع ثابتة ومشرفة (على رؤوس التلال المحاور) ما أمكن ذلك وفي المواقع الثابتة خارج الجزء للتوقع أن تشمل الأعمال الترابية (أعمال الحفر والردم). أما نقاط الضبط الرأسية فيراعى اختيار أماكنها في المواقع للمستوية (النسطة) ما أمكن خارج حدود الأعمال الترابية مع ملاحظة أنه يمكن اعتماد نقاط للمساحة الأفقية كمرجعية للارتفاعات (الناسيب) أيضاً إذا كانت مواقعها ملائمة (في مواقع مستوية وثابتة).

لا حاجة في هذه للرحلة إلى إجراء القياسات وحساب الإحداثيات الأفقية والناسيب بل يكفي بعملية الاختيار الجيد لعدد ومواقع النقاط الجديدة التي ستشكل الشبكة الأساسية التي تستند إليها أعمال المسح الطبوغرافي في للرحلة اللاحقة. يجلد بالملاحظة أنه من المفيد في هذه للرحلة الاستطلاعية تحديد الطريقة والأسلوب الذي سيتبع في تعيين إحداثيات شبكة النقاط الجديدة كي يساعد ذلك في اختيار أفضل لوسائل تجسيد وإظهار هذه النقاط في الطبيعة .

يصار عادة إلى تجسيد نقاط للمساحة للرجعية (الأفقية والرأسية) على شكل اسطوانات أو مكعبات خرسانية بأبعاد $50 \times 50 \times 50$ سم تتوسطها أسياخ أو علامات معدنية مناسبة تشير إلى موقع النقطة بالتحديد ، يجري غرسها في الطبيعة بشكل جيد. كذلك يمكن كبديل للمكعب الخرساني غرس زاوية حديدية (أو قضيب ، سيخ من الحديد) في حفرة وإحاطتها بالخرسانة للمزوجة بالدبش وقطع الحجارة الصغرة ثم يجري ردم ورص جوانب الكتلة الخرسانية بشكل جيد . يمكن أيضاً تجسيد النقطة للمساحية في حالات الأراضي الصخرية على شكل مصلب محفور في سطح الصخر بمعنى مناسب (1 إلى 2 سم).

من الضروري وصف موقع كل نقطة بالنسبة للمعالم والتفاصيل المحيطة وأخذ قياسات (زوايا ومسافات) بين النقطة للمساحية للتحيرة وثلاثة معالم (على الأقل) أو تفاصيل مجاورة (مسمار في صخرة كبيرة ثابتة، مسمار في شجرة، علامة على جدار أو

عمود كهرباء أو هاتف ... إلخ) إذا لم تتوفر مثل هذه المعالم ، يصار عندها إلى غرس علامات مساعدة في محيط النقطة لاستخدامها كدليل في المستقبل.

أما عن تباعدات هذه النقاط للساحية للرجعية الجديدة (الضية بالاستناد إلى نقاط الدولة للرجعية) فتراوح بين (2) إلى (6) كيلومتر على طول كل شريط مقترح أن يمر منه محور الطريق. يجري في مرحلة لاحقة تأسيس مضلعات ضمن شريط الأرض وبحيث تربط بالنقاط للساحية للرجعية المذكورة أعلاه لغايات التحقق والتدقيق. إن الغاية من إنشاء هذه المضلعات هو تكثيف أكثر لنقاط المساحة التي ستزوم لأغراض المسح الطبوغرافي التفصيلي لاحقاً .

كثوث لتتائج دراسة الخرائط والصور الجوية ذات المقاييس الصغيرة، بالإضافة إلى كافة البيانات والمعلومات والتقارير الأخرى للتوفرة ، إلى جانب أعمال الاستطلاع الميداني، يتوجب إنجاز الأمور التالية :

- 1 - إظهار حدود الشريط أو الأشرطة المقترح شمولها بالمسح الطبوغرافي لأغراض الدراسة وذلك على خريطة خطية عادية (Map) أو خريطة تصويرية (Photo Map) ذات مقياس مناسب (صغير يتراوح عادة بين 1/25000 و 1/250000). لاحظ أن عرض الشريط الواحد قد يصل في هذه المرحلة إلى عشرات الكيلومترات وربما ثلث طول الطريق إذ يعتمد هذا على الطبيعة الطبوغرافية والجيولوجية والميدولوجية إلى جانب للمستلزمات الخدمية والتعليمية والصحية والاقتصادية والأمنية والتطلعات للمستقبل للمنطقة التي سيمر منها الطريق .
- 2 - تقرير يصف بإيجاز طبيعة الشريط أو الأشرطة المطلوب شمولها بالمسح الطبوغرافي.
- 3 - جدول بأرقام النقاط للرجعية التي تم التأكد من وجودها ضمن أو بمحاور الشريط أو الأشرطة المقترحة وذلك لغايات الحصول على إحداثياتها و/أو مناسبتها من الدوائر للساحية الرسمية ذات العلاقة (إذا لم يكن قد تم الحصول عليها سابقاً) بالإضافة إلى الأوصاف التفصيلية لهذه النقاط للرجوع إليها مستقبلاً. كذلك إعداد جدول بأرقام وأوصاف النقاط للرجعية الجديدة .

4 - مخطط بمقياس صغير مناسب بين أماكن نقاط المساحة للرجعية الجديدة وكذلك نقاط المساحة للرجعية الجديدة وكذلك نقاط المساحة للرجعية الأساسية العائدة للدولة والتي تم العثور عليها أو تحديدها على الطبيعة أثناء المرحلة الاستطلاعية. إن من شأن هذا أن يساعد في تحديد النقاط للرجعية الأساسية التي ستستخدم في تعيين إحداثيات و/أو مناسب النقاط للمساحية الجديدة .

5 - وصف للطريقة أو البرنامج للمساحي الذي سيستخدم لاحقاً لتعيين الإحداثيات والناسيب للنقاط للرجعية الجديدة .

3-3 مرحلة الدراسة المساحية الأولية :

يأتي في مقامة الأعمال المساحية التي يتم إنجازها في هذه المرحلة ، إجراء مسح طبوغرافي شامل للشريط أو الأشرطة للقرحة أو للتمدة مبدئياً استناداً إلى نتائج مرحلة الاستطلاع الأولية. الغاية الرئيسية من هذا المسح هي إنتاج مخططات طبوغرافية تفصيلية بمقياس (1/5000) إلى (1/10000) بفترة كتورية تتراوح بين (1 م) إلى (5 م) وستوضح للوصفات المطلوبة في حلول خاص لاحقاً .

يجب أن تكون دقة وعمولية العمل للمساحي في هذه المرحلة بحيث تسمح بتعيين أو اختيار محور الطريق الأفضل الذي يمكن أن يمر من خلال كل شريط . من أجل تحقيق ذلك يجري عادة قياس وحساب وتصحيح إحداثيات وارتفاعات كافة النقاط للمساحية للرجعية الجديدة التي جرى إنشاؤها ضمن كل شريط مقترح وذلك وفق إحدى الطرق التي سترد تفصيلاً لاحقاً . يجدر بالذكر أنه لا بد هنا من أخذ قياسات فائضة تسمح بإجراء عمليات التحقق والتعديل اللازمة . كذلك لا بد من الاعتناء بهذه النقاط للرجعية لأنها ستستخدم متطلبات أساسية أخرى لاحقة في مرحلة التصميم النهائية وفي مرحلة التنفيذ [34م] [45م] .

من بين أهم الطرق المستخدمة في تعيين إحداثيات النقاط للرجعية الجديدة نذكر بشكل مختصر ما يلي ، وسنشرح معظمها بشكل مفصل في الفصل السادس .

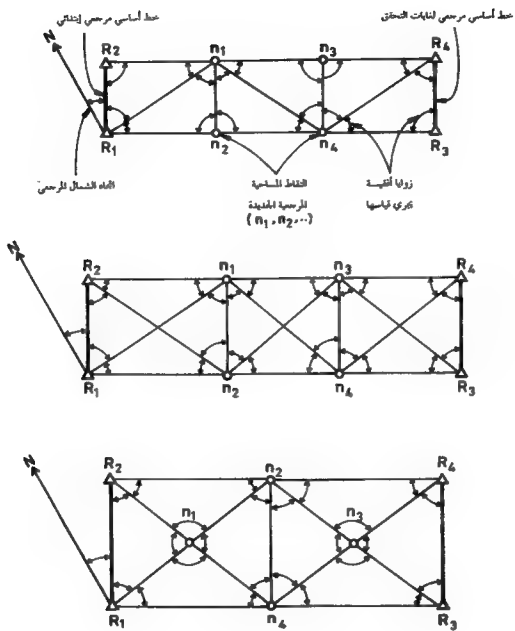
3-3-1 طريقة شبكة المثلثات (Triangulation Network) :

هنا يتم ربط النقاط للرجعية الجديدة مع بعضها بجمعها رؤوساً لشبكة من المثلثات المتصلة على طول الشريط للتحري من الأرض . تبدأ هذه الشبكة بخط أساسي ابتدائي يتصل بين نقطتين مرجعيتين معلومتين الإحداثيات (من النقاط للمساحية للرجعية الجيوديزية العامة للدولة) وتنتهي بخط أساسي آخر عند نهاية الشبكة وله نفس مواصفات الخط الأساسي الابتدائي من حيث للواصفات . يمكن أن يتخلل هذه الشبكة أكثر من خط أساسي مرجعي لغايات التحقق وزيادة الدقة خصوصاً عندما تمتد هذه الشبكة على مسافة شاسعة (عشرات الكيلومترات)، الشكل رقم (3-1). تقلس هنا الزوايا الأفقية لجميع مثلثات الشبكة أو جميع أضلاع المثلثات أو جميع زوايا وأضلاع المثلثات. يراعى أن لا تكون زوايا المثلثات حادة جداً (أكثر من 20°) وأن تقلس بدقة (لأقرب 1 ثانية). أما الأضلاع فتقلس أيضاً بدقة ولأقرب 1 مم باستخدام أجهزة قياس للمسافات الألكترونية .

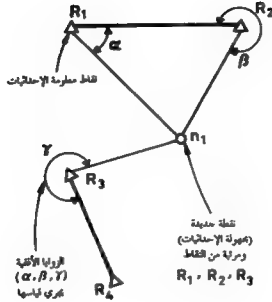
الآن واستناداً إلى الخط الأساسي للرجعي الابتدائي والذي يصل بين نقطتين معلومتين الإحداثيات بالإضافة إلى الزوايا الأفقية وأو أطول الأضلاع لكل المثلثات يمكن استنتاج (اشتقاق أو حساب) إحداثيات النقاط للمساحية للرجعية الجديدة (رؤوس أو أركان للمثلثات). كذلك بالاستناد إلى الخطوط الأساسية للرجعية المتصلة كخطوط تحقيق (Check Base) يمكن التحقق من صحة ودقة الإحداثيات للمسحوبة.

3-3-2 طريقة التقاطع الأمامي (Intersection Method) :

في هذه الطريقة وفي سبيل تعيين إحداثيات نقطة مساحية مرجعية جديدة، يستعان بأربع نقاط مجاورة معلومة الإحداثيات (من شبكة النقاط للرجعية الأساسية، على سبيل المثال) ويجري قياس ثلاث زوايا أفقية من ثلاث نقاط باتجاه أو نحو النقطة المجهولة، شكل (3-2). يجري الآن تطبيق معادلات رياضية معينة لاشتقاق إحداثيات النقطة الجديدة (مجهولة الإحداثيات)، كما سنوضح ذلك في فصل خاص لاحق . تستخدم هذه الطريقة (غير الاقتصادية والطويلة نسبياً) عند عدم إمكانية أو صعوبة تطبيق الطرق الأخرى أو بشكل خاص عندما لا تتمكن من تثبيت الجهاز في النقطة الجديدة. في حالة إمكانية تثبيت الجهاز في موقع النقطة المجهولة (ب) وعدم وجود عوائق أخرى، ينصح بتطبيق طريقة التقويم (أي طريقة التقاطع العكسي) التالية لأنها أكثر سهولة واقتصاداً .



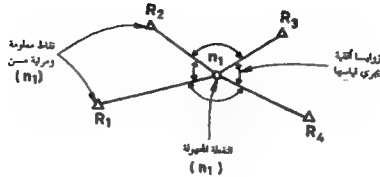
شكل 3-1 نماذج من شبكات مخطات



شكل 3-2 طريقة التقاطع الأمامي

3-3-3 طريقة التقاطع العكسي (Resection Method) :

تلخص هذه الطريقة ، شكل (3-3) بتحليل أربع نقاط (على الأقل) مرجعية معلومة الإحداثيات في الطبيعة (R_1, R_2, R_3) وبحيث تكون مرئية جميعها من النقطة المجهولة بمجهولة الإحداثيات. بمعلومية إحداثيات هذه النقاط الأربع بالإضافة إلى قياس الزوايا الأفقية من النقطة المجهولة (R_4) نحو النقاط للمعلومة، يمكن استنباط إحداثيات النقطة المجهولة وإجراء التحقق اللازم وذلك بتطبيق للمعادلات الرياضية ذات العلاقة والتي سنأتي على اشتقاقها في فصل خاص لاحق. من الواضح أن هذه الطريقة سهلة ولا تحتاج إلا إلى تثبيت الجهاز مرة واحدة (في موقع النقطة المجهولة) كما أن بعد النقاط للمعلومة (شرطية رؤيتها من النقطة المجهولة) عن موقع الجهاز لا يشكل عائقاً .



شكل 3-3 طريقة التقاطع العكسي

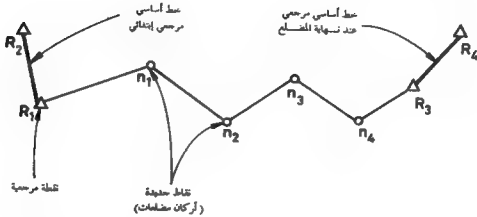
ملحوظات على طريقة التقاطع العكسي :

- 1 - يراعى عدم وقوع النقاط للمعلومة والنقطة المجهولة على محيط دائرة واحدة (أو) تقريباً هي كذلك) وذلك كي لا يصبح الحل متعزراً أو غير دقيق .
- 2 - في الغالب نطبق هذه الطريقة عندما تكون النقطة المجهولة معزولة وبعدة عن نقاط مرجعية معلومة .
- 3 - قد تكون النقاط للمعلومة المستعملة في الحل (غالباً) عبارة عن نقاط من غير الممكن الوصول إليها وتثبت الجهاز فوقها كمزانات المياه وصلبان الكنائس ورؤوس الأبراج والمواثبات وغيرها .

3-3-4 إنشاء مضلعات ضمن شبكة نقاط المساحة المرجعية :

بعد تكثيف النقاط للمساحة المرجعية يصار إلى تحشيتها وإغنائها بنقاط مساحية إضافية على شكل مضلعات يجري إغلاقها على ذات النقاط للمرجعية ، شكل (3-4) . يراعى أن يتم تجسيد مختلف أشكال العلامات للمساحة (المرجعية وأركان المضلعات)

بشكل جيد ويتناسب من حيث الثبات والدعمومة والنوعية مع مرتبة النقاط للمساحية من حيث أهميتها ودرجة مرجعيتها (النقاط الجيوديزية العامة للدولة مثلاً تأتي في المقدمة). من الأشكال التي يمكن أن تأخذها علامة للمساحة في الطبيعة ، نذكر (الزبد من التفاصيل في الفصل السادس) :

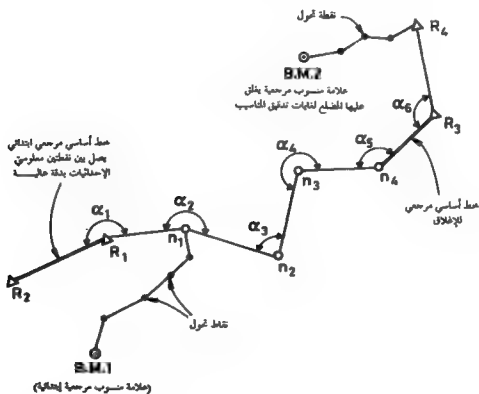


شكل 3- 4 أركان مضلع تستند وتعلق على نقاط مرجعية جيوديزية أو أخرى

دقيقة لغايات تعيين إحداثياتها وإجراء التعديل اللازم عليها

- أ - زوايا حديدية بطول (80 cm) لا يظهر منها فوق سطح الأرض أكثر من (5-8 cm) .
 - ب - حفرة بعمق وقطر (40 - 50 cm) مملوءة بالخرسانة يتوسطها قضيب حديدي أو زاوية حديدية أو علامة معدنية مناسبة .
 - ج - اسطوانة خرسانية قطر (15 cm) إلى (20 cm) وارتفاع (30 cm) إلى (40 cm) توضع في حفرة مناسبة وترك جوانبها جيداً .
 - د - مسمار قطر (6 mm) أو أكبر وبطول (15 cm) تقريباً يفرس في شق صخري .
 - هـ - صلب غفور على سطح صخري مستقر ومستمر ضمن منطقة صخرية .
- وفي سبيل إنشاء هذه للمضامير وإنجاز الحسابات وعمليات التدقيق والتعديل بشكل جيد لابد من مراعاة الأمور التالية :

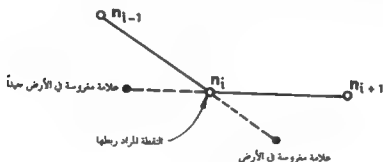
للضلعات) نستخدم أسلوب التسوية للثلية التي سيتم شرحها بشكل مفصل لاحقاً. ومع ذلك يفضل استخدام التسوية للباشرة لتحديد ارتفاعات النقاط للساحية المختلفة خاصة ذروات (رؤوس) للضلعات إذا أريد استخدامها كنقاط مرجعية أثناء مرحلة التنفيذ. ولابد هنا من إجراء التعديل اللازم على الارتفاعات وذلك بالابتداء بنقطة معلومة للنسوب والانتهاؤ بنفس النقطة أو بأخرى معلومة للنسوب أيضاً. يعتمد إختيار طريقة القياس ومدى الحاجة إلى إجراء التعديلات (التصحيحات على هذه للناسيب المحسوبة، على مدى الدقة المطلوبة الواردة في جدول للوصفات ذي العلاقة ، شكل (3-6) ، [46م] .



شكل 3-6 إنشاء المضلعات بحيث يجري تعيين وتطبيق وتعميل إحداثياتها وارتفاعاتها (مناسيبها) استناداً إلى نقاط مرجعية معلومة الإحداثيات والمناسيب (بعضها أو كلها)

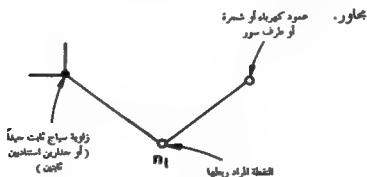
4 - يجري ربط كافة نقاط للمساحة المرجعية الجديد بورؤوس للضلعات بنقاط مجاورة يجري غرسها وتحديد أماكنها بدقة وذلك لغايات الاستدلال بما مستقلاً أو إعادة تأميسها عند قنطلقا وذلك وفق واحد أو أكثر من النماذج التالية، شكل (3 - 7)، (للزيد من التفاصيل في الفصل الثالث).

أ - بقياس مسافتين على استقامة ضلعي للضلع للتقاطعين في النقطة المراد ربطها، (شكل 7-3 أ)، نحو علامتين مفروستين بشكل جيد في الأرض .



شكل 7-3 أ

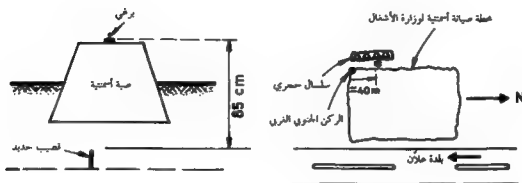
ب - بقياس مسافتين من ركن للضلع (أو النقطة للعترة) إلى علامتين محددتين من معلمين رئيسيين مجاورين، (شكل 7-3 ب)، على سبيل المثال نقطة عمدة جيداً على عمود كهرباء أو مسمار في شجرة ثابتة كبيرة مجاورة أو مسمار في الفاصل بين صفي حجر من بناء مجاور أو مسمار مفروس في رصيف



شكل 7-3 ب

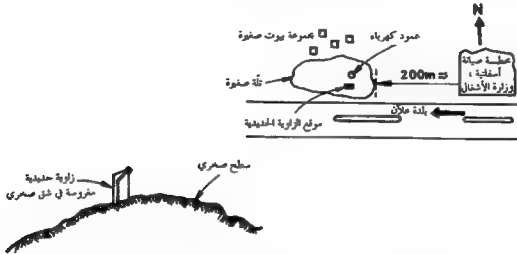
ملحوظة : كثيراً ما يجري قياس أكثر من مسافتين ربط باتجاه علامات مفروسة أو معالم ثابتة زيادة في الحيطه وبشأن وصف هذه النقاط للمساحية فلا بد أيضاً من القيام بذلك بشكل دقيق وجيد وإرفاق كروكي واضح وجيد كي لا تقع في الخطأ باعتماد نقطة مغايرة (مختلفة خاطئة) . فمثلاً نقول :

• النقطة رقم (1513) عبارة عن صبة أسمنتية طولها (0.5m) وعرضها (0.5m) وارتفاعها (0.75m) مدحونة باللون الأبيض على سطحها وفي الوسط برغي (أو نقول، حسب الواقع ، صفيحة مربعة صفيرة يتوسطها علامة (+) ... إلخ) وأسفل هذه الصبة بحلود (10cm) يوجد قضيب حديد قطر (18mm) مثبت بأسمنت في وضع رأسي ... إلخ، شكل (3-8) . أما موقع هذه النقطة : قبل دخول قرية أو بلدة علان توجد محطة صيانة أسفلتية لوزارة الأشغال العامة على يمين الشارع باتجاه البلدة. ادخل ساحة هذه المحطة حتى تصل الركن الجنوبي الغربي من المحطة . عند هذا الركن اتجأ شمالاً مسافة (40m) تقريباً حيث توجد النقطة بجوار سلسال عريض .



شكل 3-8 أحد أساليب وصف نقطة مساحة مرجعية في الطبيعة

• النقطة رقم (1514) عبارة عن زاوية حديدية مغروسة في شق صخري عريض يبرز منها (15cm) فوق سطح الصخر. أما موقع هذه الزاوية الحديدية ، فبعد محطة الصيانة الأسفلتية اتجاه غرباً عبر الشارع الرئيسي (للودي إلى بلدة علان) لمسافة مائتي متر تقريباً حتى تصل إلى مجموعة بيوت صفوة على يمين الشارع وجوار تلة صفوة يظهر على سطحها عمود كهرباء واحد. إذهب إلى هذا العمود حيث تقع الزاوية الحديدية بجواره ، شكل (3-9) .



شكل (3-9) نموذج آخر لوصف نقطة مساحة مرجعية في الطبيعة

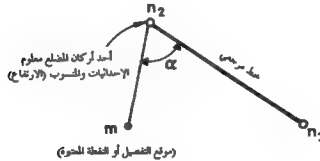
ملحوظة :

إن وضوح الكروكي ودقة الوصف وحسن اختيار العلامات المجاورة (لغايات الربط) من الأهمية بحيث تعكس صورة ومهارة للمساح نفسه .

3-5 المسح الطبوغرافي الشامل :

يجري الآن تحديد مواقع ومناسيب مختلف التفاصيل الاصطناعية (طرق، أبنية، جدران ، حلائق ، خطوط هاتف وكهرباء ، أبراج وأعمدة كهرباء ، مواقع عبارات، منازل، ساحات، .. إلخ) استناداً إلى أقرب ضلع من أضلاع المضلعات المنتشرة في كافة أجزاء المنطقة للسراد مسحاً طبوغرافياً (شريط الأرض للقتراح إمرار الطريق منه). إن كل ضلع من أضلاع المضلعات يُخدم كخط أساسي مرجعي يُحدد استناداً إليه موقع

كل تفصيل أو معلم مجاور (يميناً أو يساراً) . فيما يتعلق بتحديد مواقع هذه التفاصيل، يفضل اللجوء إلى أجهزة القياس الإلكترونية وبخصوصاً جهاز المخططة الشاملة (Total Station) الذي يقيس الزاويتين الأفقية والرأسية بالإضافة إلى للسافتين للمائلة والأفقية (وبالتالي إحداثيات مختلف النقاط من خلال برجة وتغطية معلومات أساسية معينة) في وقت واحد . على ميل للنال ، في الشكل (3-10) إذا كان الضلع (m_2) يمثل أحد أضلاع مضلع من المضلعات للنشأة وكانت النقطة (m) تمثل موضع منهل معين بجوار هذا الضلع ، فعندها يمكن تحديد موقع هذا للنهل أو النقطة للمثلة له (m) بتثبيت جهاز المخططة الشاملة في النقطة (n_2) وبعد ضبط أفقية ومركزية الجهاز يجري قياس كل من الزاوية الأفقية (α) والمسافة الأفقية (m_2) فيتحدد موقع النقطة (m) . وهكذا دواليك لتعيين نقاط أخرى ممثلة لمعالم متنوعة مثل (r) و (t) و (p) على يمين ويسار الضلع (m_2) الذي يمثل خطاً مرجحياً أساسياً بالنسبة لتحديد مواقع المعالم والتفاصيل المختلفة المجاورة [45م] .



شكل 3 - 10

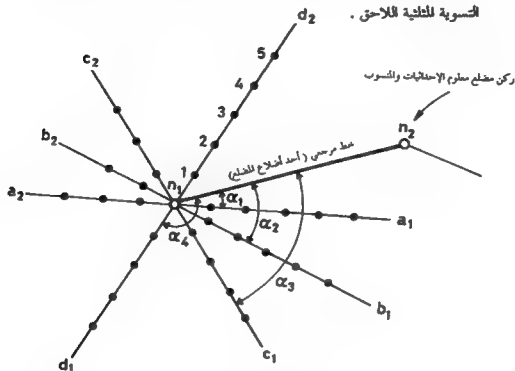
لاحظ أن القياس السريع للزاوية (α) والمسافة (m_2) يسمح وبسهولة بحساب إحداثيات النقطة (m) ذلك لأن إحداثيات ومناسيب كافة أركان المضلعات (n_1, n_2, n_3)

معلومة. كذلك يسمح الجهاز بتعزير هذه الاحداثيات من خلال جامع للعلومات (Data Collector) للملقح بالجهاز (جهاز المحطة الشاملة) يجري فيما بعد معايجتها وإخراجها حاسوبياً بالشكل المطلوب (أي رسم هذه للعالم والتفاصيل بمقياس مناسب ومن خلال رموز واصطلاحات مناسبة موجهة بشكل مسبق). بالطبع ، في حالة عدم توفر الأجهزة الالكترونية يمكن اللجوء إلى الأجهزة التاكومترية دقة ولكنها كافية لمثل هذه الأغراض وفي هذه المرحلة .

فيما يتعلق بتعيين مناسيب عدد كافٍ من نقاط سطح الأرض لغايات رسم الخطوط الالكترونية وبالتالي تمثيل تضاريس هذا السطح (الارتفاعات والانخفاضات والبول في سطح الأرض للمعيرة) يمكن اللجوء إلى عدة أساليب باستعمال ، على سبيل المثال جهاز المحطة الشاملة. من بين هذه الأساليب ، نذكر [45] :

- 1 - تعيين مناسيب نقاط واقعة على خطوط مستقيمة تصنع زاوية حادة (بفضل زاوية برقم مدور، أي إلى أقرب درجة لو غراد) مع أحد أضلاع للضلع (الخط الأساسي للرجعي للمعير) . من الطبيعي أن نراعي وقوع هذه النقاط عند أماكن التغير في ميل سطح الأرض لتمثل الأرض تمثيلاً أميناً وخصوصاً في المناطق الوعرة وكبيرة ومتفرقة الليل. غير أنه يمكن ، في بعض الحالات التي تكون فيها الأرض وعرة جداً أو أن متطلبات الدقة ليست عالية ، جعل هذه النقاط على تباعدات متساوية من بعضها (من 5 إلى 20m حسب طبيعة الأرض، إذ تتناقص للسفوحات بازدياد الوعورة والعكس صحيح) وذلك تسهيلاً للعمل واختصاراً للوقت. على سبيل المثال في الشكل (3-11) الخطوط (a₁ a₂) ، (a₂ a₃) ، (a₃ a₄) ، (a₄ a₅) تصنع زوايا أفقية (α₁, α₂, α₃) مقيسة ومعدة مع أحد أضلاع للضلع. لكن هذا الضلع هو (a₁ a₅) والنقاط هي (1, 2, 3, 4, 5, ...) عبارة على كل من أضلاع للضلع وفقاً لوجود كثافة التفاصيل وللعالم. بقياس الزوايا الأفقية التي تصنعها هذه الخطوط مع الخط الأساسي (a₁ a₅) وقياس المسافات بين الركن (a₁) وكل من هذه النقاط على مختلف الخطوط ، يمكن تحديد موقع (إحداثيات) كل نقطة. أما للناسيب لهذه النقاط فيجري بسهولة تعيينها أما بالتسوية المباشرة (جهاز التسوية Level) استناداً

إلى معرفتنا لمناسيب أركان أو ذروات المضلع (a_1, a_2, a_3, \dots) أو بالتسوية غير المباشرة (التسوية الثلاثية Trigonometric Levelling) وذلك بقياس زاوية رأسية ومسافة مائلة بالإضافة إلى معرفة ارتفاع مركز الجهاز القاس فوق ركن المضلع (a_1) وارتفاع مركز العاكس فوق النقطة للمعيرة (1 أو 2 أو 3 الخ) كما هو موضح في فصل التسوية الثلاثية اللاحق .



شكل 3 - 11 اختيار النقاط لغايات تعيين مناسيبها

وتحديد مواقعها ومن ثم رسم الخطوط الكتورية

2 - كذلك يمكن اختيار النقاط الأرضية لتحديد مواقعها ومناسيبها لغايات رسم

الخطوط الكتورية باتباع الخطوات التالية ، شكل (3-12) :

أ - نحدد العدد اللازم من النقاط على استقامة كل ضلع من أضلاع المضلع

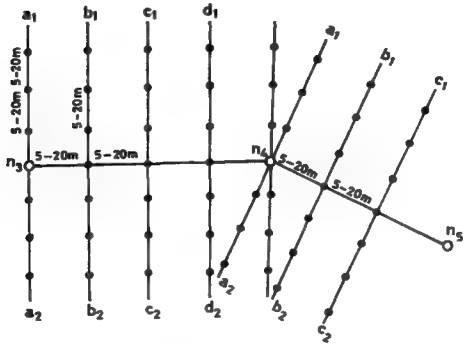
وتباعدات (تعتمد على الدقة المطلوبة في رسم الخطوط الكتورية وعلى

طبوغرافية الأرض) تتراوح بين (5m) إلى (20m) .

ب - نقيم أعمدة من هذه النقاط على ضلع المضلع .

ج - نختار تقاطعاً على كل عمود (على يمين ويسار ضلع للضلع) تباعدات مناسبة (كالسابق من 5 إلى 20).

أما من حيث طريقة تحديد مناسب هذه النقاط فيجري ذلك بأسلوب مشابه تماماً للأسلوب للاتباع في الطريقة السابقة .



شكل 3- 12 أسلوب آخر لاختيار النقاط الأرضية لغايات تحديد مواقعها ومناسبتها ومن ثم رسم الخطوط الكنتورية

أما طريقة الإخراج (التمثيل لمواقع التفاصيل وللعالم وتحديد مواقع النقاط معلومة للنسب لغايات رسم الخطوط الكنتورية) فتتلخص بالخطوات التالية :

- اختيار مقياس الرسم الذي يناسب هدف للرحلة للفترة (1/5000 إلى 1/10000) .
- رسم شبكة من الخطوط للمتعامدة على لوحة مناسبة بتباعدات ثابتة مقلدها (10 cm) في الاتجاهين لتحتم كحاملة (شبكة) إحداثيات مستطيلة متعامدة .

- ج - ترقيم خطوط شبكة الإحداثيات السينية (Easting - Westing) والصادية (Northing - Southing) انطلاقاً من مبدأ إحداثيات يعطي قيمة تسمح بتوقيع (تربيل) نقاط للثلاثتات والضلعات وتختلف النقاط للمساحة المرجعية على لوحة الرسم .
- د - تربيل (رسم أو تحديد موقع) النقاط للمساحة المرجعية على اللوحة وذلك إما بالاستعانة بحاسوب (رأسم آلي مناسب) أو باستخدام مساطر متعامدة .
- هـ - تربيل مواقع التفاصيل وللمالم وكذلك النقاط المختارة لرسم الخطوط الكتورية من خلال معرفة إحداثياتها (وبالتالي استخدام الرأسم الآلي من أجل ذلك) أو باستخدام المسطرة والنقطة كطريقة تقليدية من خلال معرفة للمسافات والزوايا الأفقية (التي تصنعها الخطوط الخاصة بهذه للمالم والنقاط المختلفة مع الخطوط الأساسية المرجعية والتي هي بناتها أضلاع للضلعات). ويراعي هنا ودائماً أخذ للملاحظات والكروكيات للدونة أثناء عملية المسح الميداني في دفاتر ميدانية خاصة (أو ضمن جامع للمعلومات وفق كودات خاصة بهذه للمالم والنقاط المختارة المختلفة إذا كان جرى استخدام الحاسوب) بعين الاعتبار عند تربيل هذه للمالم والنقاط أو إجراء التلقيب الشامل على للمخطط للرسم أو للنحت.
- و - رسم خطوط الكتور (منحنيات التسوية) بفترة كتورية تلائم هذه للرحلة من حيث الدقة وللوصفات وكذلك من حيث الطبيعة الطبوغرافية وهي عادة تتراوح بين (1m) إلى (10m) ويفضل أن لا تتجاوز (5m) .
- هذا نكون في هذه للرحلة قد أجزنا البنود الأساسية التالية التي يتوجب توثيقها بشكل مناسب كي تشكل أساساً معلوماتياً للدراسة واختيار أفضل مسار:
- ز - عظم بمقياس صغير (1:25000) يشمل على كافة النقاط للمساحة المرجعية العامة والمحددة بما فيها نقاط للضلعات وإبراز للمسافات (وربما الزوايا بين الأضلاع) على أضلاع للضلعات وكذلك جدول لإحداثيات هذه النقاط وأية معلومات أخرى أساسية.

ح - مخططات طبوغرافية مقبى (1/5000) إلى لغايات بيان مختلف للعالم
والنفاصل الطبيعية والاصطناعية إضافة إلى تضاريس الأرض ممثلة بمخطوط للكتور
(منحنيات التسوية) .

ط - مذكرة حناية توضح بالتفصيل برامج حسابات إحداثيات النقاط للمساحية
للمرجعية الجديدة وكذلك أركان للضلعات بالإضافة إلى تلك للتلصقة بحسابات
مواقع أو إحداثيات مختلف النفاصل وللعالم والنقاط للشاركة في رسم خطوط
الكتور. يمكن أن يكون الحفظ هنا للمعلومات والحسابات على شكل أقراص
مضاطبسية يجري تعريفها حاسوبياً عند الحاجة .

ي - الدفاتر الخاصة بتدوين القراءات بمجهاز التسوية (Level) إذا تم استعماله .
ك - كافة للمعلومات والكروكيات ولللاحظات ذات العلاقة ومن بينها بطاقات
الوصف (Description Cards) ، شكل (3-13) .

3-4 مرحلة الأعمال المساحية النهائية :

بعد أن يتم إنجاز للمخططات الطبوغرافية وأعمال التأسيس للمساحية الأولية، يصبح
بوسع الفريق للمصمم استعمال هذه للمخططات والمعلومات للمساحية للمختلفة في دراسة
مختلف للمسارات للممكنة بهدف اختيار للمسار الأمثل أو الأفضل. تتضمن هذه الدراسة
عادة رسم للقاطع الطولية لعدة مسارات لغايات تقدير كميات الأعمال الترابية من
حفر ورم، تحديد مواقع الجسور والمبارات وإعدادها وتقدير تكاليفها ... الخ. كذلك
لا بد للفريق للمصمم أن يأخذ بعين الاعتبار مختلف النواحي البيئية والاجتماعية
والاقتصادية والفنية التي سبق أن أشرنا إلى أهميتها في اختيار أو تفضيل مسار على آخر.

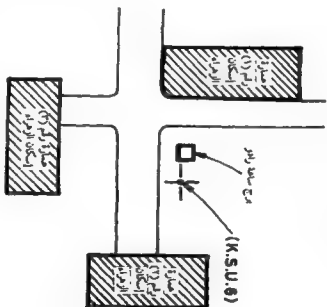
نبين فيما يلي أهم الأعمال للمساحية التي يتوجب إنجازها في هذه للرحلة :

3-4-1 نقل المسار الأمثل من المخطط إلى الطبيعة :

بعد أن يتم اختيار للمسار للمفضل وتحديد بوضوح (رسمه) على للمخططات
للمساحية، يجري الآن نقله من للمخطط إلى الطبيعة وتحديد بشكل ضمن التنفيذ السليم
وذلك وفق الخطوات الرئيسة التالية :

اسم المؤسسة :	
الترتيب : Order	
التسمية : Designation	
المنطقة : Zone	
المكان : Place	
سنة الإنشاء : Year	
X - Coord. الإحداثي السيني	
Y - Coord. الإحداثي الصادي	
Z - Coord. الارتفاع	
ملاحظات : Remarks	

Sketch and Explanations

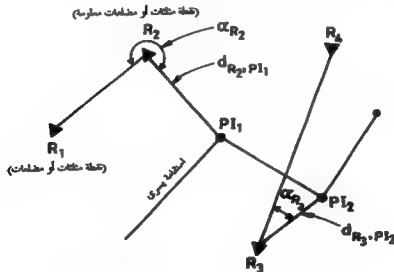


شكل 13-3- مثال عن بطاقة الوصف

1-1-4-3- نقل نقاط التقاطع (PIs) :

يجري نقل نقاط تقاطع أزواج الخطوط المستقيمة للتتالية للشبكة لمسار الطريق المختار من المخطط إلى الطبيعة وتمثيلها بشكل ملائم وذلك على الشكل التالي [45م]:

يجري البحث على للمخططات الطوبوغرافية (التضمنة بالطبع لنقاط المساحة المرجعية) عن أقرب نقطتين مساحيتين مرجعيتين (نقاط مضلعات مثلاً) لكل نقطة تقاطع (PI) لغايات تحديد العناصر الأساسية اللازمة لنقل هذه النقاط إلى الطبيعة . على سبيل المثال، لنقل نقطة التقاطع الأولى (أي : PI_1) نبحث على النقاط للمساحة المرجعية المجاورة لها ولتكن (R_1) ، (R_2) ، شكل (3-14). حيث أن النقطتين المرجعيتين (R_1, R_2) ظاهرتان على المخطط للمساحي ومجسدتان في الطبيعة فيكتفي أن نقيس على المخطط (مكبياً) باستخدام أدوات الرسم العادية) الزاوية الأفقية (α_{R_2}) والمسافة (d_{R_2, PI_1}) لتحديد موقع نقطة التقاطع (PI_1) في الطبيعة وذلك على الشكل التالي (بعد أن يكون قد تم عمل جدول بقياسات الزوايا والمسافات الأفقية الخاصة بكل نقطة تقاطع خطين مستقيمين متتاليين من مسار الطريق ، هذه القياسات مصدرها بالطبع للمخطط وما ينطبق على (PI_1) ينطبق من حيث البدء على باقي نقاط التقاطع):



شكل 3 - 14 نقل نقطة تقاطع كل مستقيمتين متتاليتين من المسار إلى الطبيعة باستخدام المخططات المساحية

- 1 - بالاستعانة بالكروكيات وبطاقات الوصف الخاصة بالتقاط المرجعية، يجري البحث عن التقطعين (R_2) ، (R_3) في الطبيعة .
- 2 - يوتي بجهاز ثيودوليت ويجري تقيته وضبطه رأسياً فوق النقطة (R_2) . تعبر الآن الدائرة الأفقية (محدد الزوايا الأفقية) ثم يلف للنظر باتجاه دوران عقرب الساعة بمقدار الزاوية (α_{R_2}) . تقيس وفق خط النظر الحالي مسافة أفقية مقدارها (d_{R_2}, PT_1) فتكون نقطة نهاية هذه المسافة للقيسة وفق الاتجاه الحالي للمنتظر ممثلة لموقع نقطة التقاطح الأولى (أي : PT_1) .
- 3 - نختار معالم رئيسة مجاورة لنقطة الـ (PT_1) و تقيس مسافات و/أو زوايا أفقية لغايات وصف موقع هذه النقطة (عمل كروكي) وذلك لتسهيل عملية البحث عنها مستقبلاً أو إعادة تثبيتها عند حصول إزاحة في موقعها أو اقتلاع لها. الأشكال (15-3) و (16-3) و (17-3) تبين بعض الأمثلة على أشكال الكروكيات وبطاقات الوصف .
- 4 - لتجسيد ووصف باقي نقاط تقاطح أزواج الاستقامات للتالية للمسار، تتبع نفس هذا الأسلوب .

ملاحظات هامة :

- أ - إذا لم تتوفر للعالم الرئيسة المناسبة يجوز تقاطح التقاطح (الـ PT_1) لغايات وصفها، تقوم بفرض علامات مناسبة حولها بالعدد والكيفية المناسبة كما هو موضح في الأشكال الخاصة بالكروكيات وبطاقات الوصف الواردة هنا .
- ب - شرحنا أعلاه لتحديد موقع نقطة التقاطح (PT_1) من خلال مسافة وزاوية (أي الطريقة القطبية) غير أنه يمكن أيضاً استعمال طريقة العمود والمسافة (خصوصاً إذا كانت الأرض منبسطة وقليلة الموائج والتقاطح للساحية للرجعية قريبة من نقطة التقاطح).
- في هذه الطريقة ، نأخذ بالمسطح للساحي وتنزل عموداً من (PT_1) على الخط الذي يصل بين التقطعين للرجعتين (R_2) ، (R_3) و تقيس المسافة بين مسقط العمود

وإحدى النقطتين المرجعتين أيهما أقرب. ولتحديد وتحديد موقع (PI_1) في الطبيعة، نقيس المسافة التي سبق أن قيست على المخطط بين (R_4) و (R_5) ومن نهايتها نقيسم عموداً (باستعمال إحدى الطرق ولو التقريبية منها، على سبيل المثال طريقة العرزا أو الورشور للرئي) بنفس الطول للقياس على المخطط فتكون نقطة نهاية العمود ممثلة لنقطة التقاطع (PI_2) على سبيل المثال ، في الشكل (14-3) لتحديد موقع (PI_1) في الطبيعة، يقاس على المخطط طول العمود PI_2, P النازل من (PI_1) على (R_4) و (R_5) والمسافة التقريبية (R_2, R_3) من النقطة (R_4) باتجاه (R_5) وتقيم العمود (P, PI_1) فتكون نقطة نهاية هذا العمود هي نقطة (PI_1) .

ج - يفضل أن تقاس للمسافات القصيرة (نهاية خمسين متراً) بالشريط وما زاد عن ذلك بالمستومات (EDM) .

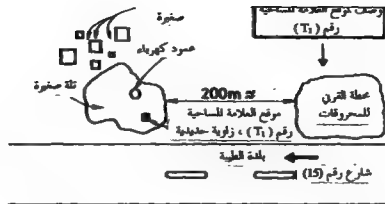
د - يمكن أيضاً تحديد مواقع نقاط التقاطع (الـ PI_2) باستعمال جهاز المخططة الشاملة أو جهاز المستومات على الشكل التالي، خصوصاً عندما تكون نقاط المساحة المرجعية بعيدة عن نقاط التقاطع :

1 - يجري قياس إحداثيات نقطة التقاطع (PI_2) من خلال المخطط والاستعانة بالشبكة التريمية (شبكة للربط الخاصة بالإحداثيات للرسمه على المخطط بنفس مقياس المخطط).

2 - بحسب سمت (أزموث) لخط الواصل بين أقرب نقطتين مرجعتين إلى نقطة التقاطع، على سبيل المثال : R_4, R_5 ، شكل (14-3) وذلك على الشكل التالي :

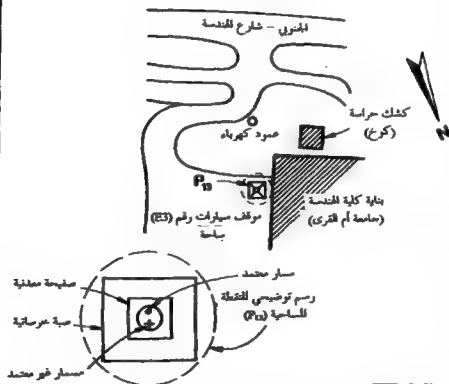
$$\alpha_{R_4 R_5} = \tan^{-1}[(X_{R_4} - X_{R_5}) / (Y_{R_4} - Y_{R_5})]$$

(لاحظ أن إحداثيات R_4, R_5 معلومتان).



نموذج - أ -

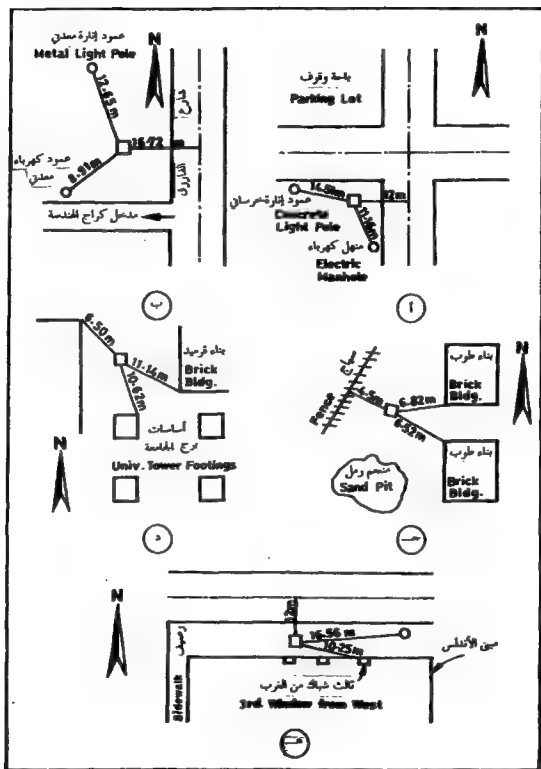
وصف لموقع العلامة الساحية (P12)



نموذج - ب -

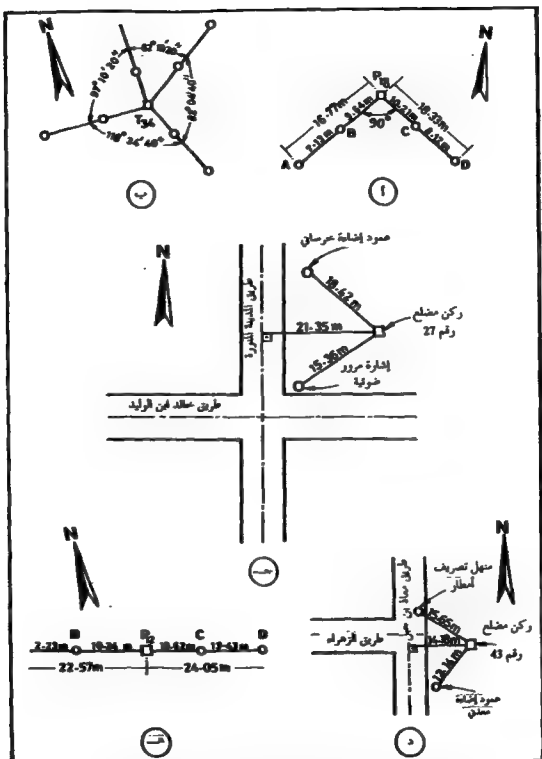
شكل 3-15 وصف العلامات المنظمة للنقاط الساحية ،

نموذجان على سبيل المثال



شكل 3-16 أطلال أخرى على طرق وصف واستاد

قطر المساحة العامة أ ب، ج، د، هـ.



شكل 3- 17 أمثلة على طرق إسناد نقاط للخطات والنقاط العامة الأخرى.

□ ترمز إلى النقطة المطلوب إسنادها (ركن الخطات أو غير ذلك)

• ترمز إلى النقطة (العلم أو العلامة) المسند لها لخطات الإسناد

لاحظ الأساليب الخمسة (أ، ب، ج، د، هـ).

4 - يوضع جهاز المحطة الشاملة في النقطة المرجعية (R_0) وبعد ضبطه يوجه إلى (R_1) وتصر الزوايا الأتية ويضد الجهاز بمقدار سمت الضلع (R_1, R_2) وبإحداثيات النقطة (R_2) ثم يلف للنظر باتجاه دوران عقرب الساعة بمقدار الزاوية (α_2) المحسوبة أعلاه ثم يجري التنقل بالعاكس على خط النظر الحالي إلى أن تظهر على الشاشة الإحداثيات المحسوبة من المخطط لنقطة التقاطع (M_2) وعندما يكون موقع العاكس الحالي هو موقع الـ (M_2) للراد تحديدًا وتحسينها في الطبيعة. وإذا لم نستخدم جهاز المحطة الشاملة فيمكن توقيع الزاوية (α_2) بجهاز ثيودوليت عادي وقياس للمسافة (M_2, M_1) المحسوبة أعلاه وفق خط النظر الحالي باستخدام الشريط المعدني فتكون نقطة نهاية للمسافة هي النقطة (M_2) ذلًا.

جدير بالملاحظة أنه يمكن قياس للمسافة بالشريط وفق خط النظر ثم وضع العاكس عند تدريج الشريط للمثل للمسافة (بينما الشريط ممتد بشكل مستقيم وفق خط النظر) للتحقق على المسافة حيث يمكن الآن تحريك العاكس وفق خط النظر ابتعاداً أو اقتراباً حتى نقرأ للمسافة الصحيحة على شاشة المستويات، أو الإحداثيات الصحيحة على شاشة جهاز المحطة الشاملة .

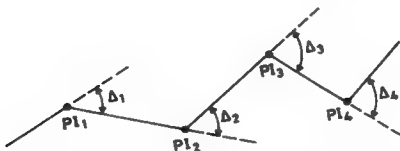
ملاحظة:

ليس من الضروري توقيع نقاط التقاطع بشكل دقيق ومطابق للقياسات المأخوذة من المخطط المساحي حيث يمكن للمهندس للصمم تحريك مواقع الـ (M_2) قليلاً أو كثيراً وفقاً للظروف الحقلية (واقع الطبيعة). إن الغاية من كل البنود السابقة للتعلقة بنقل نقاط التقاطع من المخطط إلى الطبيعة ملهي إلا وسيلة لمعرفة للواقع على الطبيعة لهذه النقاط المختارة وفقاً لمعطيات المخططات الطبوغرافية والدراسات المستندة إليها. ومن الطبيعي أن يحاول للمهندس للصمم (بعد أن حدّد على الطبيعة للواقع المختارة لنقاط التقاطع استناداً بالمعطيات والصور والخرائط) دراسة واقع هذه النقاط في الطبيعة. وهذا قد يؤدي إلى بعض التعديلات ومن ثم تحسينها بشكل نهائي. إن استخدام المستويات وجهاز المحطة الشاملة في تحديد هذه اللواقع لا يعني أننا بحاجة إلى نقل القياسات من المخططات إلى الطبيعة بدقة فائقة (لاحظ أن قياسات المخطط ليست أصلاً دقيقة إذ تمت بشيء من

التقريب للمعتمد على مقياس المخطط وعلى الأدوات المستخدمة في القياسات على هذا المخطط) وإذا كان هذا الاستعمال لغايات السرعة في تحديد الموقع التقريبية لنقاط التقاطع على الطبيعة .

3-4-2- قياس زوايا التقاطع :

بعد تجسيد كافة نقاط التقاطع (P_1, P_2, \dots, etc) يجري الآن استعمال التودوليت في قياس الزوايا الأفقية ($\Delta_1, \Delta_2, \dots, etc$) بين أزواج المستقيمتان المتقاطعتان للتتالية للشكل مسار الطريق المقترح، شكل (3-19) .



شكل 3-19 قياس الزوايا الأفقية بين أزواج المستقيمتان المتقاطعتان

3-4-3 قياس المسافات الأفقية :

باستعمال أجهزة للمساحة الألكترونية، كالدستومات (أو قائس للمسافات الألكتروني EDM) على سبيل المثال، يجري قياس للمسافات الأفقية بين نقاط التقاطع (أي : $P_1 - P_2, P_2 - P_3, P_3 - P_4, \dots, etc$) .

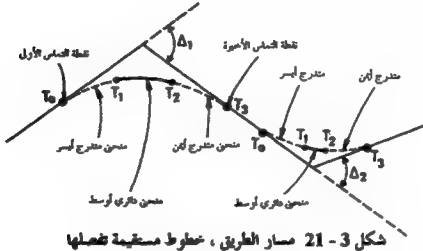
3-4-4 ربط خطوط المسار بنقاط المساحة المرجعية :

يجري ربط خطوط المسار (الخطوط المستقيمة) المرسدة على الطبيعة بنقاط المساحة المرجعية القريبة لتشكيل بذلك مضلعات تمكنا من حساب الإحداثيات الدقيقة للنقاط المسار (أي نقاط التقاطع) P_1 وفقاً للطرق التي سنشرحها في فصل المضلعات لاحقاً.

الحالة الثانية :

هنا تكون للمعطيات كما يلي :

- زوايا التقاطع مقيمة بدقة في الميدان .
- العناصر الأساسية لكافة المنحنيات الأفقية للنوعه (الدائرية البسيطة والدائرية المركبة والدائرية العكسية والمخروطية للترجعة) التي يجري تنفيذها على أرض الواقع، شكل (3-21). وعليه ووفقاً لهذه للمعطيات يجري حساب أطوال للماسات النهائية وبالتالي تحديد كافة نقاط التماس بين منحنيات الوصل المختلفة وبين الأجزاء المستقيمة من المسار.



شكل 3 - 21 مسار الطريق ، خطوط مستقيمة تفصلها

منحنيات وصل متنوعة (دائرية ومتدرجة)

3-4-6- تحديد نقاط وصل المنحنيات الأفقية الرئيسية في الطبيعة

بافتراض أننا مستخدم الحالة الثانية من البند رقم (5) أعلاه (وهذا للفضل)، أي التصميم النهائي لكافة المنحنيات الدائرية وللمتدرجة اللازمة، يسري عمل البنود التالية :

- 1 - يجري غرس علامات مناسبة في جميع نقاط التقاطع (PVI) ونقاط تماس المنحنيات مع الأجزاء المستقيمة ونقاط تماس المنحنيات ذاتها. هذه العلامات يمكن أن تكون ، كما ذكرنا آنفاً، كوتاداً أو زوايا معدنية (مغروسة في التربة أو في صبة خرسانية) أو اسطوانة خرسانية ملصقة في

سطحها صفيحة معدنية دائرية (قطر 4-5 cm) أو مربعة في وسطها مصلب،
أو صلباً مغفورة ضمن صندوق مستقرة ومستمرة وثابتة وكبيرة.

2 - غرس علامات بين نقاط التماس على كامل للنحنات وعلى مسافات
متساوية (في معظمها) من بعضها (5 m أو 10m أو 20m أو (وإذا لازم على)
25m بحيث تصغر هذه للمسافة كلما كان نصف قطر للنحن الدائري صغيراً
وكذلك في حالات غرس علامات للنحنات للترجعة). تكون هذه
العلامات في الغالب قضباناً أو زوايا حديدية منامية.

3 - غرس علامات على الأجزاء المستقيمة من المسار وذلك على مسافات
متساوية من بعضها 10m, 15m, 20m, 25m, وقد تصل إلى 30m في المناطق
للنسطة. تكون هذه العلامات عادة أوتاداً خشبية ويمكن أيضاً أن تكون
قضباناً حديدية .

ملاحظات :

■ بما أن الأجزاء المستقيمة معددة في الطبيعة (واقعة على خطوط النظر التي تصل
بين أزواج نقاط التقاطع للتالية، فيمكن بسهولة تعيين مواقع الأوتاد (قياس
المسافات الجزئية أو التباعدات) على هذه الأجزاء المستقيمة باستخدام
الشريط وربما أيضاً باستخدام المستومات(قاس المسافات الإلكتروني EDM).
■ فيما يتعلق بمواقع الأوتاد على الأجزاء للنحن من المسار، فيتم تعيينها
أيضاً باستخدام الشريط أو المستومات كما منوضح ذلك في فصل
للنحنات الأفقية لاحقاً .

* ليس من الضروري غرس الأوتاد على مسافات متساوية من بعضها إذ يمكن
أيضاً غرسها عند نقاط تغير ليل على الأجزاء للمستقيمة من المسار (محور
للشروع) .

7-4-3- تعيين المناسيب على محور المسار

استناداً إلى نقاط للناسيب للرجعية الملوورة (Bench Marks) يجري أخذ القراءات
الخاصة بتعيين مناسيب نقاط سطح الأرض للملاصقة لمواقع الأوتاد للفروسة على

محور للشار أو للمشروع (الأجزاء المستقيمة والمنحنية معاً). وهنا نواجه الحالتين التاليتين :

- 1 - حالة الأراضي أو المناطق المنبسطة ، وهنا يتم تعيين المناسيب بطريقة التسوية العادية (Ordinary Levelling) باستخدام جهاز التسوية (Level) وهي طريقة معروفة تماماً لدى القارئ الكريم .
- 2 - حالة للمناطق الوعرة أو/ و شديدة الانحدار، وهنا نستعمل طريقة التسوية الثلاثية في إيجاد مناسيب مواقع الأوتاد على الأجزاء الوعرة أو شديدة الانحدار من للشار. سيتم شرح هذه الطريقة بالتفصيل في فصل خاص لاحق .

3-4-8 رسم المقطع الطولي لمحور المشروع :

الآن وبعد تعيين أو تحديد وقياس للمسافات الأفقية بين الأوتاد بالإضافة إلى قياس مناسيب مواقع هذه الأوتاد للفروسة سواء على الأجزاء للمستقيمة أو على الأجزاء للمنحنية من محور للمشروع (Road Centre Line) ، يجري رسم للمقطع الطول بمقياس رسم أفقي (للمسافات الأفقية بين الأوتاد) مناسب، على سبيل المثال $(1/500)$ ، أو $(1/1000)$ ، أو $(1/2000)$ ومقياس رسم مناسب للمناسيب، على سبيل المثال $(1/100)$ ، أو $(1/200)$ ، وربما أحياناً $(1/50)$ وفقاً للدرجة الانحدار في مس الأرض عبر محور للمشروع. جدير بالملاحظة أن للمسافة الأفقية التي يجري اعتباره (عند رسم المقطع الطولي وبالتالي تمثيلها على محاور السينات أو محاور المسافات) بين وتدين وتعين على جزء منحنى من للشار (دائري أو متدرج) هي للمساوية لطول الجزء للمنحنى للمتد بين هذين التودين (وليس طول الوتر أو الخط المستقيم الواصل بين التودين). إن عطف للمقطع الطولي الذي يصل بين النقطات للمثلة للشار الطريق (الأجزاء المستقيمة والمنحنية) يمثل بخط منسوب سطح الأرض الطبيعية وفق محور للمشروع . يبقى الآن أن نبين طبيعة سطح الأرض على بين وشار محور للمشروع. يجري هذا بطريقة مشابهة لتلك للتعبة في تعيين مناسيب محور للمشروع، حيث واستناداً إلى نقاط مناسيب مَرَجِية بمحاور

وعلى طول محور للمشروع يجري بطريقة التسوية العادية (باستخدام جهاز التسوية) أخذ القراءات الخاصة بتعيين مناسيب بضمة نقاط (مقسمة البعد عن محور للمشروع) على محور ويسار كل وتد من الأوتاد المقروسة على طول مسار أو محور للمشروع (الأجزاء المستقيمة والمنحنية). من الطبيعي أن تعتمد للمسافات بين هذه النقاط للشكّلة للمقاطع العرضية على درجة ميل ووعورة سطح الأرض ونوع الطريق وميزانيته وأمر فنية أخرى تخص هندسة الطرق. أما طريقة رسم هذه للمقاطع العرضية فتتسم بنفس أسلوب رسم للمقطع الطولي مع اختلاف فقط في للقياس. هنا يعتمد مقياس واحد للمسافات الأفقية والمسافات الرأسية ويكون عادة (1/200) أو (1/100) أو (1/50) والشائع هو (1/100) .

9-4-3- رسم المسار الرأسي

الآن وبعد بيان طبيعة الأرض (انحدارها أو ميلها) من خلال للمقطع الطولي، يقوم فريق التصميم للتخصص برسم للمسار الذي يرى أن يسلكه خط سير للركبة على طول محور للمشروع . يستلزم هذا بالطبع رسم خطوط بميل معينة تتبع معايير واضحة ومحددة كنوع الطريق ونوع للركبات التي ستسير عليه وميزانية للمشروع بالإضافة إلى تضاريس شريط الأرض وطبيعة التفاصيل للعالم والتمان الأراضي على جانبي محور للمشروع وعوامل البيئة والراحة والسلامة العامة.. الخ.

10-4-3- رسم المقاطع العرضية والميول الجنوية

بعد رسم للمقاطع العرضية، يقوم الفريق للتصميم بوضع أو رسم خط التصميم (بالاستعانة بالمقطع الطولي) على هذه للمقاطع العرضية وذلك بملاحظة منسوب خط السور (خط محور للمشروع للتصميم وللوضح على للمقطع الطولي).

كذلك يقوم هذا الفريق للتصميم برسم خطوط للميول الجانبية على ذات للمقاطع العرضية (وفقاً لمواصفات التربة وعمق الحفر وارتفاع الردم اللازم). برسم للمقاطع العرضية يمكن حساب مساحاتها وحجوم الأعمال الترابية .

ملاحظات :

* يتم تعيين الإتجاهات للمقاطع العرضية في الطبيعة باستخدام للشوشر الرمي (Prismatic Square) وربما يحتاج الأمر إلى استخدام الثيودوليت في المناطق الوعرة وللتجربة لتحديد الإتجاهات (معاملة على محور للمسار أو للمشروع) .

سنورد المزيد من التفاصيل حول أعمال التسوية الخاصة بالمقاطع الطولية والعرضية وحول حساب مساحات للمقاطع العرضية وحجوم الأعمال الترابية في فصلين لاحقين .

3-4-11- إعداد المخططات والبيانات النهائية [م 45]

- 1 - توقيع نقاط التقاطع (Pte) على لوحة بمقياس رسم مناسب (عادة 1/1000 أو 1/2000) وذلك من خلال الإحداثيات المحسوبة لها .
- 2 - توقيع مواقع الأوتاد التي استخدمت في رسم للمقطع الطولي لمجور المشروع وكتابة للناسيب المحسوبة لمواقع هذه الأوتاد (سواء تلك الواقعة على الأجزاء المستقيمة أم للمنحنى من المسار) على نفس المخطط المذكور أعلاه (لاحظ أن مناسب الأوتاد الواقعة على الأجزاء المستقيمة تحسب بمعرفة الميول الرأسية للأجزاء المستقيمة والمسافات الجزئية بين الأوتاد كما أن مناسب مواقع الأوتاد على الأجزاء المنحنى تحسب من خلال تصميم المنحنيات الرأسية التي سرد ذكرها لاحقاً في فصل خاص .
- 3 - توقيع مواقع النقاط الممثلة للمقاطع العرضية وهذه كما رأينا تقع على خطوط مستقيمة متعامدة مع مواقع الأوتاد على الأجزاء المستقيمة والمنحنية وعلى مسافات معلومة من بعضها (جرى تحديدها في بند عمل للمقاطع العرضية). نكتب أيضاً مناسب هذه النقاط بمجور مواقعها على للمخطط .
- 4 - رسم خطوط الكتور بفترة كتورية مناسبة (عادة 1m، ولكن يمكن وحسب طبوغرافية الأرض ، أن تكون 0.5m). من الواضح أنه كلما كانت الأرض منحدره أكثر كلما زاد مقدار الفترة الكتورية والعكس صحيح إذ ينقص مقدار الفترة الكتورية مع انخفاض درجة الميل أو الانحدار.
- 5 - إجراء أي تعديل (أو إزاحة) ممكن أو مقترح على المسار واستخدام للمخطط ذاته من حيث استنباط للمعلومات الخاصة بالمقطع الطولي والمقاطع العرضية (وما يتبعها) للجزء الذي جرى تعديله .هذا تكون بنهاية هذه المرحلة قد أنجزنا

مسائل

3-1 ماهي الخطوات للساحية الرئيسة التي تتبع تثبيت علامات (الأسياخ والأوتاد الخشبية والأنابيب والقضبان للتنوعة ولللكمة بأطولها وأقصرها) عـط المحـور

(Centre Line) لمسار مشروع معين ؟

3-2 كيف يمكن نقل تفاصيل عـطط أو عـريـطة ما بمقياس معين إلى مقياس آخر أكبر بشكل بدوي ؟

3-3 ما هي أنواع نقاط التحكم أو الضبط (Control Points) ولأي الغايات تستخدم ؟

3-4 لماذا يجري عادة الإشارة إلى عـطـط المحـور (Centre Line) لطريق أو مسار آخر مقترح؟ وكيف يجري ترقيمها ؟

3-5 أذكر بعضاً من مقاييس الرسم شائعة الاستخدام في أعمال للساحية التفصيلية (ملكيات الأراضي، لغايات تصميم المنشآت السكنية، مراحل التصميم النهائية لمشاريع الطرق وشبكات للمياه والمجاري ... الخ) .

3-6 الجدول التالي يبين إحداثيات نقاط مساحة مرجعية تخص أو تقع ضمن قطعة أرض يراد تمثيلها على عـطـط بمقياس مناسب وليكن (1:500) ، المطلوب تحديد إحداثيات الركن الجنوبي الغربي الأقصى من شبكة العـطـطـط التـريـعية الـتي سـيـصار إلى رسمها على لوحة الرسم (للعـطـط) بتباعدات (10 cm) في الاتجاهين (السيـنـي والصادي).

	X (m)	Y (m)
A	3216.23	4461.39
B	3319.42	4497.11
C	3413.49	4518.37
D	3419.68	4621.44

3-7 ما هي مساحة الأرض التي يمكن تمثيلها ومن معطيات التمرين رقم (3-6) ؟

3-8 كيف تكتب أرقام الأوتاد المفروسة على عـطـط المحـور لمشروع طريق معين إذا كانت

تبعد هذه الأوتاد للمسافات التالية من بداية الطريق أو للمشروع ؟

725 m , 1225 m , 1500 m , 1775 m , 2200 m , 2225 m .

3-9 اذكر الأشكال التي يمكن أن تأخذها علامة للساحية في الطبيعة .

العناصر الأساسية التالية والتي يتوجب توثيقها حسب الأصول كمآلف مساحي نهائي لأعمال تنفيذ مشروع الطريق :

6 - الإحداثيات النهائية الدقيقة والكروكيات (مطابقات الوصف وعلامات الإسناد للرجعية) لنقاط التقاطع (الـ *Pe*).

7 - عطات (أو تدريجات *Chimings*) مواقع الأوتاد التي يتوجب غرسها على كامل محور للمشروع، بما في ذلك مواقع أوتاد نقاط التماس والنقاط للمثلة للأجزاء للحنية من للمسار.

8 - للسافات والناسيب ومختلف للعلومات والحسابات الخاصة بنقاط للقطع الطولي (*Profile*) بما في ذلك النقاط للمثلة للأجزاء للحنية من للمسار ونقاط للقاطع العرضية (*Cross - Sections*) .

9 - عطات للقطع الطولي والقاطع العرضية بالمقاييس آتفة الذكر .

10 - عطات شامل للمسار وخطوط الكتور ومواقع للنشآت الهامة على هذا للمسار بالمقاييس المذكور آنفاً ($1/1000$ أو $1/2000$)، بما في ذلك للمسار نفسه (خط محور الطريق) .

3 - 10 اذكر أهم للمعلومات الأساسية التي يمكن استنباطها في مرحلة الأعمال الاستطلاعية.

3 - 11 اذكر أهم البنود التي يتوجب إنجازها وتوثيقها في مرحلة الدراسة للمساحية الأولية.

3 - 12 أذكر العناصر الأساسية التي يتوجب إنجازها وتوثيقها في مرحلة الأعمال للمساحية النهائية.

- 4 -

الفصل الرابع
الفرق الهندسية الرئيسة العاملة
في مشاريع الطرق
ENGINEERING WORKING TEAMS
IN HIGHWAY PROJECTS

4 - الفرق الهندسية المطلوبة في أعمال تخطيط وتصميم خطوط المسارات

1-4- مقدمة

يتطلب الاختيار السليم والتصميم للوفق لخطوط المسارات المختلفة قدرًا هائلًا من المعلومات حول الجوانب الطبوغرافية (Topography) والجيولوجية (Geology) والهيدرولوجية (Surface and Underground Drainage) واستعمالات الأراضي (Land Uses, Present and Future) وميكانيكية التربة (Soil Structure) وعليه فلا بد من عمل مساحي متنوع الدقة ومتعدد المصادر وسريع وفعال. إن الغاية الأساسية من هذا العمل للمساحي هو تلبية حاجة المشروع من المعلومات التي: (1) تُسهّم في تحديد موقع للمشروع (Location)، (2) تمكن من إنجاز التصميم (Design)، (3) تحدد حرم للمسار وبالتالي حدود الأراضي المحصورة (Right of Way)، و (4) تلتزم لأغراض التنفيذ (Construction). ولا شك أن حجم ودقة المعلومات للمساحية تختلف من مرحلة لأخرى ومن مشروع لآخر، ولكن من المهم أن نعلم أن المزيد من الدقة يتطلب المزيد من الوقت وبالتالي المزيد من التكاليف. في أحيان كثيرة، يكون طلب زيادة قليلة في الدقة سبباً في زيادة هائلة في التكاليف. من هنا، وعلى الرغم من أن تكاليف الأعمال للمساحية مهما كانت دقيقة لا تتجاوز عادة 1-2 ٪ من التكاليف الكلية للمشروع، فإن الزيادة غير للمرّة في الدقة تكون على حساب الوقت والمال. وتعتمد درجة الدقة المطلوبة في أعمال للمساحة على الأمور الرئيسة التالية [52] :

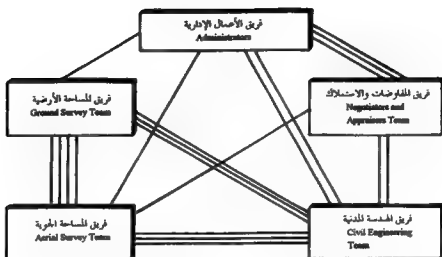
- (1) الغرض من العمل للمساحي (Purpose of Survey) ،
- (2) طبوغرافية منطقة للمشروع (Type of Topography) ،
- (3) كثافة التفاصيل واستعمالات الأراضي (Intensity of Land Uses).
- (4) الاعتبارات الاقتصادية (Economic Considerations) .

إن الحجم الهائل من المعلومات المطلوبة واعتبارات الدقة والسرعة في الإنجاز والتكامل في المتطلبات تستوجب جميعها إن يكون هناك فريق عمل رئيسي يلقى ويوجه وينسق أعمال عدة فرق أخرى يعنى كسل منها بمجال محدد طيلة فترة مراحل المشروع التصميمية والتنفيذية. الشكل (1-4) يبين الفريق الرئيسي والفريق التابعة له التي غالباً ما يتطلبها أي مشروع مسار يهدف لإنجاز الجيد .



الشكل 4-1 الفرق الأساسية اللازمة لإنجاز مشروع مسار معين

إن الإنجاز الجيد للمشروع لا يتطلب توفير الكوادر الفنية والأجهزة والمواد فحسب، بل يجب إيجاد أسس للاتصال والتعاون والفهم للتبادلية وإلزام كل فريق بمسئوليات الفريق الآخر أيضاً، كذلك لا بد من العمل على توثيق للمعلومات وتكاملها بشكل جيد ومدروس، والحرص على تسهيل مهمة البحث عنها والاستفادة منها. **بين الشكل (2-4) أهمية وحجم العلاقة التي تربط كل فريق بالفرق الأخرى بشكل** يتناسب مع عدد الخطوات. وعليه فإنه يلاحظ بأن فريق للمساحة الأرضية والمساحة الجوية يتساويان من حيث الأهمية مع فريق الهندسة المدنية، ولكن علاقتهما ببعضهما أقوى من أي علاقة ثنائية أخرى بين مختلف الفرق ونلاحظ الأمر نفسه بالنسبة لفريقي الإدارة والإستملاك إذ لهما العلاقة نفسها مع فريق الهندسة المدنية بينما توجد بينهما علاقة أقوى.



الشكل 4-2 قوة العلاقة بين مختلف الفرق العاملة في مشروع مسار

معين معبر عنها بعدد الخطوط، كلما زاد عدد الخطوط كانت العلاقة

(حجم التعاون) أقوى وأهم

كذلك نجد أن العلاقة بين فرقي الإدارة والامتلاك وفرق الهندسة المدنية أقوى من علاقة فرقي الإدارة والامتلاك مع كل من فرقي للمساحة الأرضية والمساحة الجوية. وهذا يعود بشكل رئيسي إلى الحاجة الماسة لرأي فريق الهندسة المدنية في شؤون الامتلاك وفي الشؤون المالية المتعلقة بإنشاء وصيانة للمشروع [52] .

4-2 فريق الهندسة المدنية (Civil Engineering Team)

يُعدُّ فريق الهندسة المدنية من أهم الفرق العاملة في مشاريع المسارات. ولكي يتسنى لهذا الفريق القيام بواجبه خير قيام من حيث الدقة والاقتصاد في الإنجاز، ينبغي أن يضم

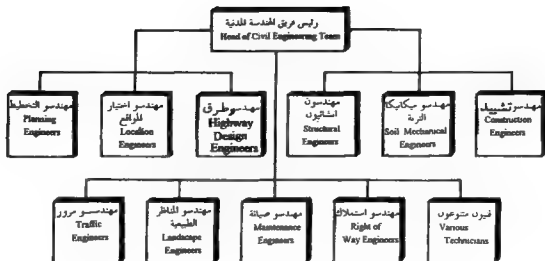
هذا الفريق متخصصين أو مهندسين خبراء في مجالات التخطيط (Planning) ، والمرور (Traffic) واختيار المواقع (Location) ، والصيانة (Maintenance) والتصميم الهندسي (Geometric Design) ، والتصميم الإنشائي (جسور وعبارات وجدران إستنادية... الخ) (Structural Design) ، والاستملاك (Right of Way) ، والتنفيذ الإنشائي (Construction) ... الخ. يتبع هذا الكادر الهندسي التخصصي كادر مقتدر من الفنيين في مجالات إنشاء الجسور وأعمال الحفريات والفرشيات والخلطات الأسفلتية والصيانة والمرور... الخ، الشكل (3-4) ولا بد أن يذكر هؤلاء جميعاً مهندس طرق مدني بخبرة وكفاءة عاليتين إضافة إلى تمتعه بخلفية جيدة عن أعمال المساحة الأرضية والجوية وشؤون إدارة المشاريع والأنظمة الهندسية.

ملحوظة:

من بين الشعب التي تشكل فريق الهندسة المدنية في الشكل (3-4) شعبة هندسة ميكانيكا التربة. وتشتمل على متخصصين في دراسة التربة والنواحي الجيولوجية والجيوتقنية نظراً للدور الأساسي الذي يلعبه المهندسون والفنيون الجيولوجيون والجيوتقنيون في تحديد مسارات الطرق خصوصاً في الأمور المتعلقة بمواقع الهبوط والإنزلاقات في التربة، وتحديد ميول الحفر والردم إضافة إلى دراسة أماكن وجود للقالع الحجرية والنيابيع المائية وغيرها من المواد والأمور التي تساعد على تحقيق الاقتصاد والسلامة العامة. [52]

3-4 فريق المساحة الأرضية (The Ground Survey Team) :

هذا الفريق على علاقة مباشرة ووطيدة مع كافة مراحل إنشاء المسار وأعمال الصيانة فيما بعد . تنعكس كفاءة هذا الفريق على دقة الإخراج النهائي للمشروع إضافة



الشكل 4-3 فريق الهندسة المدنية ويشتمل على مهندسين

وفنيين من مختلف التخصصات

إلى المساهمة الأكيدة في تجنب الأخطاء الكبيرة وما يترتب عليها من هدر للمال والوقت . ويضم هذا الفريق مهندسين متخصصين في مجالات الجيوديزيا (Geodetic Engineers) والطبوغرافيا (Topographic Engineers) إضافة إلى مساحين وفنيين ذوي خبرة واسعة ، تمكنهم من تشغيل وبرمجة أجهزة للمساحة الإلكترونية الحديثة ، الشكل (4-4) . يتركز عمل هذا الفريق على علاقة مباشرة ووطيدة مع كافة مراحل إنشاء المسار وأعمال الصيانة فيما بعد . تنعكس كفاءة هذا الفريق على دقة الإخراج النهائي للمشروع إضافة إلى المساهمة الأكيدة في تجنب الأخطاء الكبيرة وما يترتب عليها من هدر للمال والوقت . ويضم هذا الفريق مهندسين متخصصين في مجالات الجيوديزيا (Geodetic Engineers) والطبوغرافيا (Topographic Engineers) إضافة إلى مساحين وفنيين ذوي خبرة واسعة، تمكنهم من تشغيل وبرمجة أجهزة للمساحة الإلكترونية الحديثة،

الشكل (4-4) . يتركز عمل هذا الفريق في مجال مساحة للثلاث والمضلعات وأعمال التسوية العادية وللتلنية الدقيقة وتوقيع للنحيات الأفقية والرأسية وغرس أوتاد للميل وتحديد حرم الطريق ومواقع الجسور والمبارات والحدائق وغيرها من المنشآت المختلفة إضافة إلى حساب الكميات. وينصح أن يرأس هذا الفريق مهندس مساحة متخصص ذو خبرة واسعة في مجالات للمساحة المختلفة وخصوصاً ما يتعلق منها بمساحة للمسارات إضافة إلى خلفية جيدة في شؤون للمساحة الجوية وهندسة الطرق [10ق] [12ق] [22ق] [52ق]

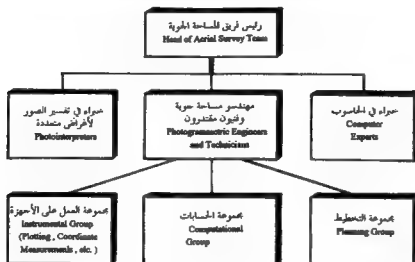


الشكل 4 - 4 مستوى العاملين في فريق المساحة الأرضية

4-4 فريق المساحة الجوية (Aerial Survey Team):

على الرغم من أن مشاركة هذا الفريق مع غيره من الفرق في تصميم وإنشاء المسارات، أصبح شيئاً مألوفاً جداً في الدول المتقدمة، إلا إن الأمر غير ذلك في معظم الدول النامية لعدة أسباب من أهمها النقص الكبير في الكوادر المدربة والمؤهلة في هذا المجال، الشكل (4-5) . يشتمل هذا الفريق على مهندسين وفنيين في مجالات تقسيم الصور لغايات متعددة (زراعية، وحيولوجية، وتعليمية، ومرور، وصيانة... الخ)، وعمل غططات وخرائط طبوغرافية متنوعة من خلال الصور وأجهزة للمساحة الجوية، واستنباط الإحداثيات والأبعاد المختلفة، ومعالجة المعلومات من خلال الحاسوب، وتعديل الصور، وعمل الخرائط الصورية، وإعداد مخططات الطيران، اختيار وتحديد نوع

العدسة والطائرة (ارتفاع الطيران وتجهيزات التصوير... الخ)، وتجهيز للمنطقة للصورة بالعلامات للناسبة واختيار مواقع نقاط الضبط... الخ. يرأس هذا الفريق عادة مهندس مساحة جوية (Photogrammetric Engineer) ذو خبرة في أعمال للمساحة الجوية إضافة إلى معرفة جيدة في أعمال للمساحة الأرضية وهندسة الطرق (52) [20م] [11م] [9م] [6م] [5م]

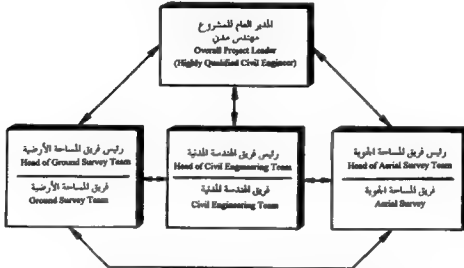


الشكل 4 - 5 العاملين في فريق المساحة الجوية

4 - 5 العلاقة بين فرق الهندسة المدنية والمساحة الأرضية والمساحة الجوية:

من الواضح أن الفرق الرئيسية التي تلعب دوراً أساسياً في تصميم وإنشاء المسارات هي فريق الهندسة المدنية وفريق هندسة للمساحة الأرضية وفريق هندسة للمساحة الجوية، الشكل (4-6). ولابد هنا من تعاون وثيق بين الفرق واحترام وفهم متبادل لأعمال كل فريق حتى يتحقق الهدف الهندسي من المشروع ألا وهو الدقة والتكامل والاقتصاد. ولا بد هنا أن يعرف كل فريق مكانة وأهمية عمل الفريقين الآخرين وطبيعته ويبحث عن أفضل الطرق والبرامج التي تعينه على تحقيق وإنجاز متطلبات الفرق الأخرى، بعد مناقشة تفصيلية مشتركة تأخذ بعين الاعتبار كافة العناصر الرئيسية الأخرى للمشروع وقد جرت العادة، وثبتت صحتها، أن يرأس هذه الفرق الثلاثة مهندس مدني ذو خبرة واسعة في مجالات التصميم والإنشاء والصيانة إلى جانب معلومات أساسية في حقلي للمساحة الأرضية والجوية. يقوم هذا للمهندس، (وهو نفسه مدير للمشروع

(Overall Project Engineer) ، بمناقشة القضايا كافة (خصوصاً الفنية منها) مع رؤساء الفرق الثلاثة من أجل تحديد خطة سير العمل وتحديد الأولويات وتوزيع المسؤوليات وتحقيق التنسيق الفعال بين مختلف الفرق. كما يقوم بتنظيم ندوات ومحاضرات عالية تهدف إلى مناقشة مشتركة لمشكلات وقضايا للمشروع المختلفة وإلى تبادل للمعلومات والآراء حول ما يطرح من أسئلة واستفسارات تتعلق بالمشروع.



الشكل 4 - 6 علاقة الفرق الرئيسية الثلاثة ببعضها البعض

4-5-1 العلاقة بين فريق الهندسة المدنية وفريق هندسة المساحة الأرضية:

يجب أن تكون العلاقة بين فريق الهندسة المدنية والمساحة الأرضية وثيقة خصوصاً في قضايا الدقة المطلوبة وانعكاسها على الوقت والتكاليف عند وضع الموصفات والشروط الفنية لتنفيذ مراحل المشروع. يتطلب التعاون هنا أيضاً مناقشة مراحل تنفيذ للمشروع ووضع الأولويات وتسلسل الأعمال وتكاملها.

4-5-2 العلاقة بين فريق الهندسة المدنية وفريق هندسة المساحة الجوية:

يحتاج فريق الهندسة المدنية إلى التعرف على الخدمات والمعلومات والدقة التي يمكن الحصول عليها من خلال فريق للمساحة الجوية لمختلف مراحل المشروع. كذلك لا بد أن يقوم فريق للمساحة الجوية بالتعرف على احتياجات المشروع وتوضيح شروط الدقة وتكاليفها والوقت اللازم لها من أجل تحقيق الوفر من خلال ربط أسلوب العمل وتنوعه بالأجهزة والكوادر الفنية بطبيعة العمل والدقة المطلوبة.

3-5-4 العلاقة بين فريق هندسة المساحة الجوية وفريق هندسة المساحة الأرضية:

العلاقة هنا قوية إلى درجة يمكن معها توحيد هذين الفريقين في فريق واحد. ويمكن القول إنه لا يمكن تحقيق الدقة المطلوبة والاقتصاد للنشود دون تعاون وثيق وتكامل أكيد بين هذين الفريقين. فأعمال الفريقين تكمل بعضها بعضاً ونتائج كل منهما تنعكس على الآخر سلباً أو إيجاباً. وفي هذا المجال ينبغي على فريق للمساحة الجوية أن يعرف أن أعمال فريق للمساحة الأرضية هي الأساس الذي تركز عليه غالبية أعمال للمساحة الجوية وإن هناك قضايا لا تحل إلا من خلال للمساحة الأرضية، أن فريقاً للمساحة الأرضية هو صاحب الدور الأساسي في تزويد فريق للمساحة الجوية بالإحداثيات الدقيقة لنقاط الضبط (Control Points) ، وهو أيضاً الجانب الوحيد القادر على الوصول إلى مناطق الغابات وللناطق المخفية الأخرى للحصول على المعلومات للمساحة المطلوبة، حيث يصعب على للمساحة الجوية عمل شيء بشأها في نطاق الإحداثيات وبيان التفاصيل. كذلك على فريق للمساحة الأرضية إن يعي دور فريق للمساحة الجوية في نطاق تقديم المعلومات للكثفة بالسرعة المائلة محققاً بذلك الوفرة في الوقت والمال. كذلك لا بد أن يفهم فريق للمساحة الأرضية الحقيقة للوكدة ؛ وهي أن دقة الكثير من الأعمال في المساحة الجوية تستند إلى دقة الكادر الفني لفريق للمساحة الأرضية وبرامج حساباته وتنوعه أجهزته. ومن المفيد هنا أن يتذكر الفريقان أن زيادة بسيطة في الدقة قد تعني زيادة هائلة في التكاليف، وهذا يستدعي ربط درجة الدقة للطلوبة بغايات وأهداف العمل لكل مرحلة من مراحل تنفيذ للمشروع. [3م] [5م] [7م] [9م] [11م] [17م] [24م] [28م] [29م] [52م] .

مسائل

- 4-1 عند الفرق الأساسية اللازمة لإنجاز مشروع مسار معين واذكر بما لا يتعدى خمسة سطور عن أهمية كل منها.
- 4-2 ما هي أهم الواجبات الأساسية للفرقة على عاتق فريق للمساحة الأرضية في إطار تصميم وتنفيذ مشروع مسار معين؟
- 4-3 قارن بين فريق المساحة الأرضية والجوية من حيث:
- أ - طبيعة عمل كل فريق .
 - ب - الوقت اللازم لاستنباط للمعلومات .
 - ج - التكاليف .
 - د - الدقة
 - هـ- للمستوى العلمي والمهني للكوادر الفنية .
 - و - نوع وتكاليف الأجهزة المستخدمة من كل فريق .
- 4-4 ضع تصوراً عن العلاقة للهيئة التي يجب أن تتوفر بين الفرق الأساسية المختلفة اللازمة لإنجاز مشروع مسار معين مع بيان أهمية هذه العلاقة وانعكاسها على تكاليف وتنوعه للمشروع.

(5)

الفصل الخامس

أجهزة المساحة الإلكترونية

**ELECTRONIC SURVEYING
INSTRUMENTS**

5-1 مقدمة :

يقبل العاملون في مجالات المساحة المختلفة على استخدام أجهزة المساحة الإلكترونية بمجلس وثقة وبشكل مكثف وتزايد مضطرد. ولعل السبب الرئيسي يعود إلى السرعة المضافة في إنجاز القياسات للمسافات القصيرة والطويلة (عشرات الكيلومترات) في إطار السهولة الكبيرة في الاستعمال والدقة العالية في النتائج. ووفق ذلك كله هناك تطوير مستمر وشامل على طرق استعمالها وتنوع استعمالها وسبل تخزين المعلومات وإخراجها. وإذا كانت السرعة والدقة وسهولة الاستعمال هي السمات الأساسية الإيجابية لأجهزة المساحة الإلكترونية فإن هناك عظامر كبيرة وتكاليف باهظة ستحجم حتماً عن سوء استعمالها. إنما رابعة فعالة إذا فهمت أساسياتها وبرامجها وحسن واتقن استعمالها وإلماء في نفس الوقت ، عاطلة جداً مشوشة ومعيقة في غياب الكفاءة لدى العاملين عليها.

وإن كانت مجالات استخدام أجهزة المساحة الإلكترونية واسعة متشعبة فإن في مقدمة هذه الاستعمالات تأتي مساحة للضلعيات أو التضليح . هذه الطريقة للمساحية للتنمية الاستعمالات نجد في أجهزة المساحة الإلكترونية غير منطوقها في تغذية الإحداثيات وما يشتق منها لمواقع النقاط وللعالم للتنوع وذلك بلمقة عالية وسرعة فائقة مما يتيح للمخططين والمصممين إنجاز أعمالهم وتصميمهم في فترات زمنية مناسبة. وكما سبق أن أشرنا إليه في الفصول السابقة، إن استخدام طريقة التضليح (Traversing) في أعمال الطرق هام وأساسي ومكثف وهو كذلك في اللامضي البعيد والقريب وفي الحاضر والمستقبل. غير أن أجهزة المساحة البصرية التقليدية كانت عاجزة تماماً عن تزويد للمخططين والمصممين بالمعلومات للمساحية (طبوغرافيا وإحداثيات ...) في الأوقات للناسبة، خصوصاً في حالات اللناطق الشاسعة والصعبة . يعود هذا بشكل رئيسي إلى طول الفترة الزمنية التي كانت تستغرقها أعمال القياس الخطية وما يتبع ذلك من حسابات واشتقاقات

وتصحيحات كانت تتم في معظمها بشكل يدوي خصوصاً قبل قيام الثورة الحاسوبية. ناهيك عن عوائل القياس الطبوغرافية والجوية الكثيرة والتي كانت تمحّد من الاستعمال السريع والدقيق والفعال لأجهزة القياس التقليدية (وتقتصد هنا أجهزة توجيه خطوط الاستقامات، كالتبولوجيت ، بالإضافة إلى استعمال الأشرطة والجذير ... الخ في قياس المسافات) .

سوف نستعرض في الفقرات التالية وبشيء من التفصيل مبدأ استعمال أجهزة قياس المسافات الإلكترونية، بعضاً من الخصائص الأساسية لهذه الأجهزة ، أنواعها ، تطبيقاتها مع التركيز على أعمال الضليح ، مصادر الأخطاء ، شؤون الدقة والمعايير، وبعض الأنظمة والتطبيقات .

كذلك سنقدم فكرة حول نظام التوقيع الكروي من حيث أنه نظام واحد متطور ويتسارع كبير من المتوقع أن يلعب دوراً هاماً ومتنامياً في العديد من التطبيقات (سيّما وأن لمن هذه الأجهزة في انخفاض مستمر ومشجع) . في مقدمة هذه التطبيقات نذكر أعمال الضلعات وشؤون تكيف تقاط الضبط للمساحية لأغراض وتطبيقات تخدم مجالات واسعة بالإضافة إلى أعمال للسح المقاري والتفصيلي وغيرها.

5 - 2 نبذة تاريخية [7م] [8م] [9م] [11م] [12م] [17م] [21م]

بدأ التطبيق العملي على استعمال أجهزة قياس المسافات الإلكترونية في بداية الخمسينات (عام 1952) حين ظهر في الأسواق ولأول مرة جهاز الجيوديستر (Geodimeter) حيث Gas من Geodetic و Di من Distance وجموعتها تصبح Geodetic Distance Meter) الذي أنشجته شركة AGA of Stockholm السويدية وفقاً للبحوث التي أجراها العالم الفيزيائي السويدي Dr. E. Bergstrand . لقد استعملت مصابيح الزئبق والتجسّن كمصدر للضوء في النماذج الأولى من هذا الجهاز الكهربوصري (Electro-Optical Instrument) ممّا قلّل من فاعليته في قياس المسافات أثناء النهار بسبب ضعف الإشارات الضوئية . كذلك لم تكن الدقة مرضية في قياس المسافات القصيرة (أقل من نصف كيلومتر) فكان الاستعمال للكثف لهذا النوع مقتصرأ إلى حدّ كبير على أعمال الشبكات الجيوديسية حيث للمسافات كبيرة نسبياً.

تطور هذا الأمر لاحقاً في عقد الستينات حيث ظهرت أجهزة توليد الاشعاعات تحت الحمراء (Infrared Radiation) كمصدر للضوء (أمواج ضوئية بأطوال تتراوح بين 0.4μ إلى 1.2μ) في أجهزة القياس الكهروبصرية مما ساعد في تخفيض تكاليف أجهزة القياس هذه وزيادة فاعليتها .

هناك العديد من أجهزة القياس الإلكترونية شائعة الاستعمال التي تتبع هذا النوع "أجهزة القياس البصرية" يصعب حصرها والحديث عنها هنا بشكل مفصل نظراً للتزايد المضطرد في تعدد أشكالها وتفاوت مواصفاتها من حيث الدقة واللسدى والتكاليف وشروط التشغيل ويمكن الرجوع إلى المراجع [1] وغيرها لمزيد من المعلومات .

جدير بالذكر أنه وبحلول عام 1935 سبق وأن استخدم جهاز الكتروني لقياس المسافات أطلق عليه في حينه بـ "الرادار" Radar . لقد كان هذا الجهاز ضخماً ثقيلاً منخفض الدقة لم يبلغ المستوى المطلوب لتلبية احتياجات الأعمال المساحية .

كذلك تمكن Wadley في أواسط الخمسينات من تطوير جهاز الكتروني لقياس المسافات أطلق عليه اسم "Tellurometer" يعمل على الموجات للمايكرويه (Microwave) - 10 μ 100م وتم استعماله على نطاق تجاري عام (1957) في قياس المسافات الطويلة. تلا هذا الجهاز تطوير عدد آخر من الأجهزة التي تعمل على الموجات الدقيقة .

3-5 - مبدأ عمل أجهزة قياس المسافات الإلكترونية [29م] [33م] [37م] [39م] [52م] 3-5-1. مبدأ عمل الأجهزة الكهروبصرية : (Electro-Optical Instruments)

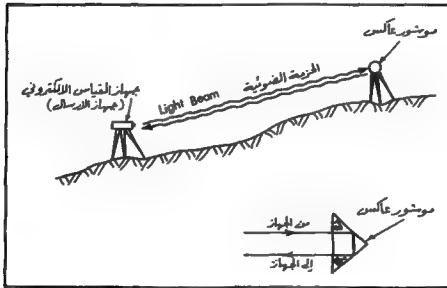
لتوضيح مبدأ عمل هذا النوع من الأجهزة التي تعمل على الموجات الضوئية للملكة (Modulated Light) بأطوال تتراوح من 0.4μ إلى 1.2μ (أي تشتمل على الموجات الضوئية للريئة (Visible Light) ، 0.4μ إلى 0.7μ ، وللموجات تحت الحمراء (Infrared Light) ، 0.7μ إلى 1.2μ)، دعنا نفترض في الشكل (5-1) أنه يراد قياس المسافة بين نقطتين محددتين وذلك باستخدام أحد أجهزة القياس الكهروبصرية ، لذلك عندما نفترض وجود جهاز قياس كهروبصري مثبتاً فوق النقطة A وعاكس Reflector مثبتاً فوق النقطة الثانية B . بتشغيل جهاز القياس تطلق حزمة ضوئية ذات تردد معدل Frequency - Modulated Light Beam باتجاه

مركز العاكس الذي يقوم بدوره بعكس الحزمة إلى الجهاز فيقوم هذا الأخير (جهاز القياس) بقياس الزمن الذي استغرقته الحزمة الضوئية في قطع المسافة بين مركز الجهاز ومركز العاكس ذهاباً وإياباً (1) . وبمعرفة سرعة الحزمة الضوئية (V) في الهواء (الذي سارت أو انطلقت خلاله Atmosphere) يمكن من خلال العلاقة الرياضية البسيطة التالية استخراج مقلد المسافة (S) بين المركزين (مركز الجهاز ومركز العاكس) ، انظر أيضاً الشكلين (2-5) و (3-5) :

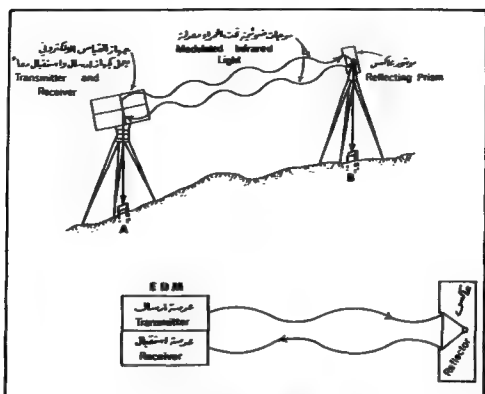
$$S = \frac{1}{2} V \cdot t \dots\dots\dots (1-5)$$

ملحوظة :

لمزيد من التفصيل يمكن الرجوع إلى المراجع [51، 54] وغيرها .



شكل 5-1 مبدأ قياس المسافات باستخدام الأجهزة الكهرومصرية [51، 54]



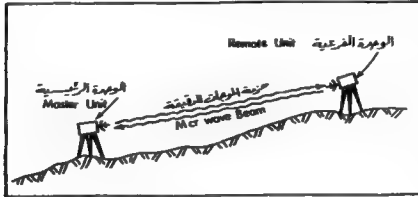
شكل 2-5 موضح بيان إجمالي لمبدأ القياس ونماذج
لواضع عاكسة [51]

5-3-2 مبدأ عمل أجهزة الموجات الدقيقة

(Microwave Distance - Measuring Instrument) :

بالرجوع إلى الشكل (Two Medical Electronic Unit) ، لحدما تبيت عند أحد طرفي الخط المراد قياس طوله بينما تبيت الوحدة الثانية عند الطرف الآخر لهذا الخط. يطلق على إحدى هاتين الوحدتين بالوحدة الرئيسية (Master Unit) بينما يطلق على الأخرى بالوحدة الفرعية (Remote Unit) . تقوم الوحدة الرئيسية بإرسال موجات راديوية ذات تردد معدل (Frequency Modulated Radio Waves) إلى الوحدة الفرعية حيث تستقبلها وتعيد إرسالها إلى الرئيسية . الآن تقوم الوحدة الرئيسية بقياس الزمن للمستغرق ذهاباً وإياباً للموجات الراديوية ومن ثم حساب المسافة استناداً إلى نفس المعادلة المذكورة آنفاً، للمعادلة (1-5) .

ملحوظة : لمزيد من التفاصيل يمكن الرجوع إلى المراجع [1] .



شكل 5-3 مبدأ القياس بأجهزة الموجات الدقيقة [51]

5-4 جهاز المحطة الشاملة (Total Station) :

5-4-1 مقدمة :

جهاز المحطة الشاملة أو الشاملة عبارة عن وحدتين متكاملتين لقياس الزوايا (وحدة الثيودوليت الإلكتروني) والمسافات (وحدة قياس المسافات إلكترونياً، أي المستويات EDM) بالإضافة إلى كرت خاص لتسجيل المعلومات وقياسات الكرونيبا لبحري فيما بعد قراءة واستخراج المعلومات للسحطة عليه من خلال حاسوب مناسب

ومن ثم إجراء التصحيحات والإضافات اللازمة لفايات استخراج العديد من البيانات على شكل رسومات وجدول بمختلف أشكال للمعلومات وفقاً لبرامج محددة ومتقنة لخدمة الأغراض المرجوة. من أهم ميزات جهاز المخطط الشاملة، السرعة والدقة وسهولة الاستعمال وإمكانية الربط المباشر وغير المباشر بالحواسيب والتسجيل الأتوماتيكي للمعلومات وبالتالي الاستغناء عن دفتر الحقل الكلاسيكي.

5 - 4 - 2 أنواع أجهزة المخطط الشاملة :

توجد هذه الأجهزة على أشكال متعددة وإن كانت الغاية واحدة. من هذه الأجهزة ما هو مكون من وحدات منفصلة (Modular) تجمع مع بعضها عند الحاجة (على سبيل المثال تكون وحدة قياس للساغات منفصلة عن التيردوليت) ومنها ما يُشكل أجزاء وحدة واحدة متصلة (Self Connected) كذلك بعض هذه الأجهزة يسمح بإجراء العديد من العمليات الحسابية ميدانياً وبعضها مصمم بحيث يجري التعامل مع المعلومات اليلديية (المسجلة أوماتيكياً على كرت خاص) في الكيب بالاستعانة بحاسوب يمكن من إجراء الحسابات وأعمال الرسم اللازمة . يجدر بالذكر هنا أنه يمكن الاستعانة ببرامج الأوتوكاد (Auto CAD) لأعمال الرسم وإخراج للمحططات والخرائط للتنوعة .

5 - 4 - 3 مجالات استخدام أجهزة المخطط الشاملة :

هناك مجالات متعددة للإفادة من أجهزة المخطط الشاملة، نذكر منها :-

- 1 - للمسح التفصيلي .
- 2 - للشاريع الهندسية (توقيع للبان والطرق وخطوط المجاري واللياه وأقنية الري ...الخ).
- 3 - التضليح (مساحة للضلعات).
- 4 - أعمال للمسح الدقيق .
- 5 - للمسح الطبوغرافي بكافة أشكاله .

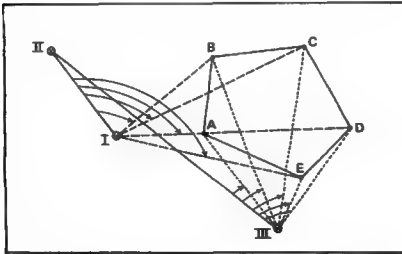
5 - 4 - 4 مساوئ استخدام أجهزة المخطط الشاملة :

يمكن تلخيص مساوئ استخدام أجهزة المخطط الشاملة على الشكل التالي :-

- 1 - يصعب إجراء التحقيق الميداني أثناء أخذ القياسات إذ لابد من العودة إلى للكيب وانعراج الحسابات والرسومات ومن ثم إجراء تحقيق شامل .
- 2 - يلزم استخدام فلتر خاص عند رصد الشمس وإلا تعرضت وحدة قياس المسافات الإلكترونية (EDM) للمعطب .
- 3 - أحياناً تنعكس الإشارة الكهرومغناطيسية من شيء (جسم ما أو سطح عاكس ما) غير العاكس نفسه .

5-4-5 التضليح بواسطة جهاز المخططة الشاملة [46م] [47م] [48م] [49م] [54م]

- فيما عدا حالات للضلعات ذات الأضلاع الطويلة (تجاوز في أطوالها الكيلومتر) يمكن تلخيص خطوات العمل على الشكل التالي (شكل 5-4) :
- أ - يثبت الجهاز رأسياً فوق نقطة مناسبة (I) داخل أو خارج للضلع أو حتى فوق أحد أركان المضلع ذات مع مراعاة أن يكون موقع هذه النقطة المختارة معلوماً أو مفروض الإحداثيات ويجري ضبط رأسية وأفقية الجهاز تماماً في هذه المخططة .



شكل 5-4 التضليح بجهاز المخططة الشاملة

ب - يوجه منظار الجهاز باتجاه نقطة أخرى (II) معلومة الإحداثيات أو تشكل مع محطة الرصد (المحطة تثبت فوقها الجهاز) خطاً معلوم الأزموت (الانحراف الكلي عن الشمال) أو سيجري قياسه بالرصد الفلكي أو باستعمال البوصلة (إذا كان موضوع الاتجاهات غير مهم أو مطلوب بشكل دقيق)، لاحظ أنه يمكن حساب أزموت خط معلومة إحداثيات طرفية (في مثلثنا هذا I و II) .

جـ- يظني الجهاز بإحداثيات نقطة الرصد (I) وبأزموت الضلع (II-I) ، سواء كانت معلومة أو افتراضية ، وارتفاع مركز الجهاز فوق نقطة الرصد وكذلك بارتفاع مركز العاكس فوق ركن للضلع الذي سيتم رصده (وارتفاع الهدف للرصد فعلياً فوق الركن للرصد إذا لم يكن بالإمكان رؤية مركز العاكس وبالتالي قياس الزاوية الرأسية بشكل دقيق لفنايات إجراء التصحيح اللازم في حسابات المسافة الأفقية و فرق الارتفاعات ، كما سيتضح في الأمثلة اللاحقة).

د - تصفّر دائرة الزوايا الأفقية بينما الرصد باتجاه النقطة (B) من النقطة (I) .

هـ- الآن يلف للنظر باتجاه دوران عقارب الساعة لرصد كافة أركان للضلع (إذا أمكن رؤيتها جميعاً من محطة الرصد I التي يجري عادة اختيارها واختيار أركان للضلع نفسه بحيث تحقق هذا الهدف للتمثل بإمكانية رؤية كافة أركان للضلع من محطة رصد واحدة وهي في مثلثنا هذا المحطة I) . من الطبيعي أن يجري تثبيت العاكس (بالمدد للناسب واللازم من المعدات العاكسة) فوق كل ركن من أركان للضلع (B, D, C, B, A) عند إجراء الرصد باتجاهه لفنايات القياس والتسجيل الآلي للمسافات والزوايا (الأفقية والرأسية).

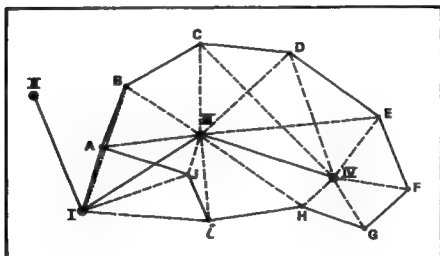
و - الآن يوسع جهاز المحطة الشاملة الأتوماتيكي حساب وتخزين وإظهار (على شاشة الجهاز نفسه) قيم الزوايا الأفقية والرأسية والانحرافات (مصححة) والمسافات الأفقية وثلاثة خطوط لقياس (B, D, C, B, A) وكذلك إحداثيات أركان للضلع (B, D, C) (B, A) و فروق الارتفاعات أو لو للناسب (إذا تم تخليد الجهاز بالنسب للعلوم أو لتفروض لنقطة الرصد I) ومعلومات أخرى وفقاً للمطلوب وتنوع الجهاز ونوع

وعدد وكفاءة برامج الحاسوب وللحقوق الأخرى (أدوات حساب وتجميع وتسجيل وتخزين للبيانات الإلكترونية).

ز - الآن يجري الانتقال إلى محطة رصد جديدة بخلاف المحطة السابقة (I) ، ولكن (III) في الشكل (7-2) شريطة أن تكون إحداثياتها معلومة وتتيح نفس المرجعية للمحطة لمحطة الرصد الأولى (I). تقوم الآن باتباع نفس الخطوات الواردة أعلاه (البند ١) مع تغيير فقط موقع محطة الرصد من (I) إلى (III). وعند توافق أو تقارب النتائج يجري اعتماد القيم للتوسط للمساكنات والانحرافات وللتناسيب (أولو فروق الارتفاعات) والإحداثيات الناتجة عن عمليتي الرصد من كلتا المحطتين (I) و (III) .

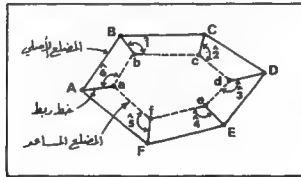
ملحوظات :

١ - عندما يكون للضلع كبيراً أو لو عدم إمكانية رؤية كافة أركان المضلع من محطة رصد واحدة، عندما يمكن اتباع نفس الخطوات السابقة ولكن باختيار عدد أكبر من محطات الرصد ، شكل (5-5) .



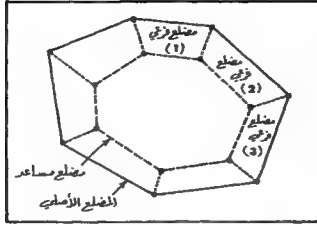
شكل 5-5 تحديد مواقع أركان قطعة أرض مضلعة كبيرة بالرصد من أكثر من محطة واحدة وذلك بطريقة الإشعاع (Radiation)

كذلك يمكن عمل مضلع مساعد ضمن للمضلع الكبير حيث يجري استخراج إحداثيات أركانها إما بطريقة الإشعاع أو بالطريقة العادية والأكثر دقة (تثبيت الجهاز في كل ركن من أركان المضلع ورصد الركن السابق والركن اللاحق لغايات قياس أطوال وانحرافات كافة أضلاع المضلع وبشكل مباشر) وبعد ذلك يجري قياس الزاوية (1) والمسافة (B_6) لتحديد إحداثيات الركن (B) ثم يقيس الزاوية (2) والمسافة (C_6) لتحديد إحداثيات الركن (C) وهكذا يجري قياس بقية الزاوية (3)، (4)، (5)، (6) وكذلك بقية خطوط الربط (F_6, E_6, D_6, A_6 (Tie Lines) لتحديد إحداثيات باقي الأركان F, E, D, A على التوالي، انظر الشكل (5 - 6) . تفيد هذه الطريقة كثيراً في تحديد مواقع أركان قطع الأراضي التي يصعب رصدها بسهولة أو تثبيت الجهاز فوق أركانها مباشرة . في حالة استخدام المضلع للمساعد (Auxiliary Traverse) داخل مضلع القطعة الكبير، يراعى أن تكون أركان المضلع المساعد في مواقع تمكن من قياس مسافات خطوط الربط (A_6, B_6, \dots إلخ) والزاويا الخاصة بتحديد الانحرافات $1_6, 2_6, 3_6, \dots$ (إلخ) . في حالة استخدام أكثر من محطة رصد واحدة، يراعى أن يرصد كل ركن مرتين على الأقل (من محطتي رصد على الأقل) لغايات حساب إحداثيات الأركان مرتين على الأقل وأخذ القيم للتوسطة وذلك إذا أردنا تحقيق دقة أعلى [33م] [45م] [46م] [54م] .



شكل 5 - 6 استخدام مضلع مساعد لتعيين مواقع أركان مضلع أو قطعة أرض أكبر

- 2 - إذا كانت الدقة المطلوبة عالية جداً فلا بد من الرصد من كل من أركان المثلّغ (أي لابد من تثبيت الجهاز فوق كل ركن من أركان المثلّغ ورصد المخطئة السابقة (الركن السابق) والمخطئة أو الركن اللاحق وإجراء التدقيق اللازم وعمل التعديل (Adjustment) ، أي تكسير الأخطاء الزاوية والمخطئة .
- 3 - يطلق على التضليل بالاستعانة بمحطات رصد خارج أو داخل للمثلّغ المطلوب (السابق شرحه)، أي من دون احتلال كافة أركان المثلّغ، بطريقة الإشعاع (Radiation) ومن عيوب هذه الطريقة أنه لا يمكن تحديد دقة القياسات أو العمل للساحي علماً بأنه يمكن تحقيق دقة تصل إلى (1/10000) عند مراعاة الدقة وباستخدام أجهزة مصانة ومضبوطة وإشراف وتنفيذ للساحين الأكفاء . على أي حال، يتوجب إجراء بعض عمليات التحقق عندما تستخدم طريقة الإشعاع في التضليل. ومن بين عمليات التحقق هذه (وزيادة الدقة) إعادة القياس من محطة رصد أخرى ومقارنة النتائج وأخذ للعدل في حالة تقارب هذه النتائج وإعادة القياسات عند تباعدها. كذلك يمكن إجراء التحقق من خلال القياس المباشر لبعض المسافات (أطوال ضلع أو أكثر من أضلاع المثلّغ) بواسطة الشريط أو للمستومات ومقارنة النتائج هذه بتلك للمستمرجة بطريقة الإشعاع .
- 4 - يمكن أيضاً التعامل مع المثلّغ للمساعد بأن يصار إلى تشكيل مضلعات فرعية يجري حساب إحداثيات أركانها (بطريقة رصد مناسبة ، إما بطريقة الإشعاع أو بالطريقة العادية وحساب خط القفل أو التكسير (Closure Error) لكل مضلع فرعي ومن ثم معرفة إن كانت هذه المضلعات الفرعية تتوافق بشكل مقبول مع المثلّغ الكبير ذاته، شكل (5-7) .

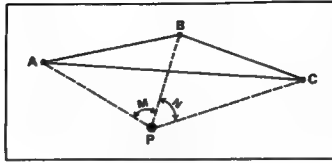


شكل 5-7 الاستعانة بمضلع مساعد ومضلعات فرعية في تحديد مواقع أركان مضلع كبير

5-4-6 المقاطع العكسي بواسطة جهاز المحطة الشاملة :

تتلخص طريقة التقاطع العكسي (Resection) في إيجاد إحداثيات نقطة (P) من خلال رصد ثلاث نقاط أخرى (على الأقل) معلومة الإحداثيات (C, B, A) شكل (5-11) . من أجل ذلك يجري تثبيت جهاز المحطة الشاملة فوق النقطة مجهولة الإحداثيات (P) وبعد تمام عمليات الضبط الأفقي والرأسي للجهاز وإجراءات التشغيل يجري رصد النقاط الثلاث معلومة الإحداثيات (C, B, A) من محطة الرصد P (موقع النقطة مجهولة الإحداثيات) لغايات قياس الزاويتين الأتيتين (\hat{N}, \hat{M}) .

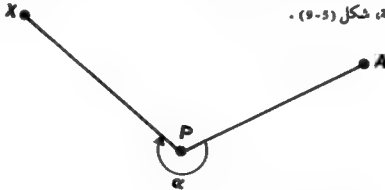
الآن معلومة الزاويتين (\hat{N}, \hat{M}) وإحداثيات النقاط (A), (B), (C) يمكن حل كافة للخطات ذات العلاقة بإيجاد إحداثيات النقطة (P) (كما سنبين ذلك في موضوع التقاطع العكسي الذي سورد لاحقاً في الفصل السادس) ، شكل (5-8) .



شكل 5-8 فكرة التقاطع العكسي

إن جهاز المحطة الشاملة موجّه بحيث يمكن بعد تفديته بقياس الزاويتين (N, M) وإحداثيات النقاط الثلاث على الأقل (C, B, A) من حساب وتخزين وإظهار إحداثيات النقطة مجهولة الإحداثيات (P) .

ولغايات التحقق ومعرفة مدى الدقة في تعيين إحداثيات النقطة (P) يمكن رصد نقطة رابعة معلومة الإحداثيات. الآن وبعد تحديد إحداثيات النقطة (P) ، والتي قد تكون نقطة ضمن موقع مشروع أو غيره، يمكن اعتبار الخط (PC) أو (PB) أو (PA) خطاً مرجعياً (حيث إحداثيات الطرفين معلومة وبالتالي يمكن استخراج الأزموت لأي من هذه الخطوط المرجعية بجانب معرفة الإحداثيات بالطبع للنقطة P). وبالتالي يمكن الآن تعيين إحداثيات أي نقطة (X) ضمن للمشروع وذلك بتثبيت عاكس فوق هذه النقطة أو تلك وقياس الزاوية (α) والمسافة الأفقية (PX) برصد مركز العاكس بجهاز المحطة الشاملة، شكل (5-9).



شكل 5-9 تعيين إحداثيات نقطة جديدة

5-5 مقارنة بين الأجهزة الكهروبصرية وأجهزة الموجات الدقيقة :

يمكن القول بأن الأجهزة الكهروبصرية أكثر استعمالاً وشيوعاً ورغبة من أجهزة الموجات الدقيقة وذلك نظراً للفروق الأساسية التالية :

1 - تتأثر أجهزة الموجات الدقيقة (Microwave Instruments) بشكل كبير بالعوامل الجوية (Atmospheric Conditions) وخصوصاً الرطوبة بينما نجد الأجهزة الكهروبصرية أقل حساسية وتأثراً .

2 - في كثير من التطبيقات الانشائية ، على سبيل المثال قياس التشوهات والازاحات في المباني والجدران والسدود، يصعب استخدام وحنتين للقياس في آن واحد وبالتالي فإن استخدام الأجهزة الكهروبصرية يكون أمراً مفضلاً ونادراً ما نلجأ إلى استخدام أجهزة الموجات الدقيقة لمثل هذه التطبيقات (داخل أو بين الأبنية الكثيفة أو قرب السطوح المائلة أو تحت سطح الأرض نظراً للتسبب في اتساع زاوية الحزمة المايكروية .

3 - يتطلب الأمر وجود مساحين إثنين وبشكل دائم أثناء القياس بأجهزة الموجات الدقيقة (واحد لكل وحدة قياس) بينما يكفي بمساح واحد في حالة الأجهزة الكهروبصرية مع ملاحظة أنه يكفي بتثبيت العاكس وتركه أثناء عملية القياس. كذلك يتطلب استخدام الأجهزة المايكروية توفر جهازين أحدهما للإرسال والآخر للاستقبال مع وجود اتصال هاتفي بينهما.

4 - إذا اصطدمت الحزمة الكهرومغناطيسية للرسلة من أحد أجهزة الموجات الدقيقة بأية سطوح أو أجسام تتعرض خط سيرها فسوف تنخفض درجة الدقة. ذلك لأن حزمة الأشعة المنطلقة من جهاز الموجات الدقيقة هي على شكل مخروط مخروطي بعرض 1.50° تقريباً وبالتالي فإن أي جزء من هذه الحزمة يصطدم بأي سطح سينشأ عنه انعكاسات معينة ربما يصل بعض منها إلى وحدة الاستقبال في جهاز الإرسال فيحري تفسيرها خطأ إذ لا تستطيع هذه الوحدة تمييز الانعكاسات الصحيحة من الخاطئة . يعتبر موضوع الانعكاسات هذا أمراً مهماً خصوصاً عند القياس للمسافات الطويلة التي يمتاز الأنهار والبحيرات والسهول للنبسطة .

5 - ترسل الأجهزة للايكروية موجات كهرومغناطيسية بأطوال تقع في المجال (10-100µm) بينما ترسل الأجهزة الكهروبصرية موجات كهرومغناطيسية بأطوال في المجال (0.4-1.2µm) .

6 - عند مقارنة أجهزة كهروبصرية بأجهزة تعمل على اللوحات الدقيقة وبنفس الأسعار، نجد بشكل عام أن الأجهزة الكهروبصرية أكثر دقة .
ملحوظة :

تستطيع اللوحات للايكروية اختراق أجواء الضباب والمطر أثناء القياس بشكل يتميز بكثير عن الأجهزة الكهروبصرية

5-6 مصادر الأخطاء عند القياس بالأجهزة الكهروبصرية [17م] [24م] [33م] Sources of Measurement Errors in Using Electro-Optical Devices

من مصادر الأخطاء عند القياس بالأجهزة الكهروبصرية ما يلي :

- 1 - أخطاء ناشئة عن عدم الدقة الكاملة في قياسات الطور Phase Measurement .
- 2 - أخطاء ناشئة عن عدم انطباق موقع نقطة انطلاق الشعاع الضوئي مع موقع نقطة مركز الجهاز وأخطاء أخرى ناشئة عن عدم انطباق مركز العاكس الفعلي (حيث تنعكس الأشعة) مع للمركز النظري (التصميمي) للعاكس .
- 3 - عدم تمركز جهاز القياس و/أو العاكس تماماً فوق المخططة (مخططة الرصد أو المخططة للرصد). يمكن هنا تقليل الخطأ باستعمال أدوات دقيقة ومناسبة لضبط الرأسية وببذل المزيد من الدقة والانتباه .
- 4 - أخطاء ناشئة عن اختلاف قيم الترددات التبدلية الفعلية (Actual Modulation Frequency) عن القيم النظرية لهذه الترددات .
- 5 - أخطاء ناشئة عن ظروف القياس الجوية ، على سبيل المثال يصعب تحديد قيمة معامل الانكسار للهواء (Index of Refraction of the Atmosphere) عند كل نقطة على طول الخط للقياس لمخططة القياس بواسطة الجهاز الالكتروني . عملياً يجري قياس درجة حرارة الهواء لأقرب 1°C ومقدر الضغط الجوي لأقرب 2 مم زئبق (2mm Hg) قرب جهاز القياس ولمرة واحدة فقط . على أي حال ، يمكن ، عند الحاجة إلى

نتائج دقيقة جداً ، اللجوء إلى قياس معامل الانكسار عند طري عخط القياس واعتماد القيمة للتوسطة . كذلك يمكن الطوران فوق عخط القياس بهدف تحديد قيمة أدق لمعامل الانكسار من خلال إجراء قياسات أكثر عدداً .

إن الأخطاء الناشئة عن قياسات الطور وعدم تمركز جهاز القياس أو العاكس فوق المحطة للمترة هي أخطاء عشوائية (Random Errors) بينما الأخطاء الناشئة عن عدم التطابق بين مركز انطلاق الأشعة ومركز الجهاز وكلنا عدم تطابق مركز العاكس الفعلي مع مركز النظري هي أخطاء ثابتة (Constant Errors). كذلك لا علاقة بين هذه الأخطاء (الثابتة والعشوائية) وبين طول للمسافة للقيسة. في المقابل نجد أن الأخطاء الناشئة عن عدم الدقة في تعيين معامل الانكسار الوسطى وتلك الناشئة عن عدم تطابق قيم الترددات الفعلية مع قيم الترددات النظرية هي أخطاء متناسبة طردياً مع أطوال للمسافات للقيسة . بهارة أخرى، إن الخطأ الثابت هو للسيطر في حالة الأخطاء الثلاثة الأولى بينما يعتبر الخطأ للتغير هو للسيطر في حالة الخطأين الأخيرين (الرابع والخامس). على سبيل للثال، إذا وجد أن الخطأ للتوسط التريبي (Root - Mean - Square, rms, Error) هو: $(10\text{mm} + 2\text{ppm}) \pm$ فمعنى هذا أن الخطأ للتوسط التريبي الناشء عن الأخطاء الثلاثة الأولى يبلغ $\pm 10\text{mm}$ بفض النظر عن طول للمسافة للقيسة بينما يكون الخطأ للتوسط التريبي الناشء عن الخطأين الأخيرين مساوياً $\pm 2\text{ppm}$ (أي $2/1000000$) من للمسافة للقيسة .

ملحوظات :

يمكن التقليل من الأخطاء الناشئة عن الشروط الجوية (Atmospheric Conditions) وقياسات الطور (Phase Measurement) من خلال إعادة القياس عدة مرات لنفس للمسافة وأخذ القيمة للتوسطة .

يمكن التقليل من الأخطاء الناشئة عن عدم تمركز جهاز القياس و/أو العاكس فوق المحطة بإعادة القياس من خلال التبادل بين الجهاز والعاكس في احتلال كل من طري عخط القياس .

إن إعادة القياس لا يساعد في تقليل الأعطاء الناشئة عن : (1) عدم تنابق مركز العاكس الفعلي مع المركز النظري له ، (2) اختلاف قيم الترددات التعديلية الفعلية عن القيم النظرية لها ، و (3) اختلاف موقع نقطة انطلاق الأشعة مع موقع نقطة مركز الجهاز .

5- 7 العوامل المؤثرة على دقة أجهزة قياس المسافات الإلكترونية [33م] [37م] [54م]

من بين التي تؤدي إلى إعاقة في عمل أجهزة قياس للمسافات الإلكترونية أو/و انخفاض في دقتها ما يلي :

أ - ضعف البطارية أو عدم وصلها تماماً بالجهاز أو وجود خلل في البطارية ذاتها أو أداة الوصل الكهربائية .

ب - خطأ في لمس أو تحريك الزر الصحيح .

ج - عدم تثبيت المستومات بشكل صحيح فوق منظار التيودوليت .

د - عدم كفاية العدسات العاكسة (المسافة المراد قياسها أطوال من مدى الجهاز) مما يتسبب في ضعف الإشارة الكهربائية للنعكسة خصوصاً أثناء القياس مع وجود الضباب أو الثلج أو للطر والغبار (التي من شأنها التقليل من مدى الرؤية) .

هـ - وجود عوائق على مسار القياس مؤثرة سلباً على استمرارية الإشارة أو الخزمة الضوئية المرسله من الجهاز باتجاه العدسات العاكسة فوق الهدف المرصود .

و - وجود الأوساخ والغبار والدقائق للشوشة الأخرى على أسطح عدسات الجهاز أو/و العدسات العاكسة .

ز - عدم تثبيت جهاز القياس و/أو العاكس فوق النقطة للنقطة تماماً .

ح - عدم قياس ارتفاع كل من جهاز القياس والعاكس أثناء أخذ القياسات .

ط - عدم قياس أو أخذ قياسات العوامل الجوية (الحرارة والضغط الجوي) بشكل دقيق .

ي - التغيرات في درجات الحرارة والضغط الجوي خلال فترة العمل بالأجهزة (مع ملاحظة أن بعض أجهزة القياس الإلكترونية تقوم بشكل اتوماتيكي بتصحيح الأعطاء الناجمة عن الاختلافات في الضغط الجوي ودرجة الحرارة والبعض الآخر يحتاج إلى إدخال التصحيحات بموجب علاقات رياضية أو جداول ومنحنيات (رسوم بيانية) خاصة بكل جهاز تملكه الشركة الصانعة) .

ق - إن أجهزة القياس الإلكترونية للمايكروية (Microwave Instruments) تحتاج إلى التصحيح الخاص بالحرارة والضغط والرطوبة (Humidity) وليس فقط إلى التصحيح الخاص بالضغط والحرارة كما هو الحال بالنسبة للأجهزة الكهروبصرية (Electro-optical) حيث يمكن إهمال عامل الرطوبة الذي يؤثر عليها بأكثر من واحد بالمائة من تأثيره على الأجهزة للمايكروية. بقي أن نقول هنا أنه عند قياس المسافات الطويلة في مناطق غير متجانسة في مناخها وحيثما أريد تحقيق دقة عالية، يراعى أخذ القياسات الجوية بآثار طري للمسافة .

ل - عدم حماية أجهزة القياس (الخاصة بقياس المسافات والعوامل الجوية معاً) من أشعة الشمس الحارة المباشرة أثناء عملية القياس. في مثل هذه الظروف (القياس في جو مشمس حار) يتوجب استخدام مظلة مناسبة وبالإضافة إلى ذلك يراعى ما أمكن عدم القياس باتجاه الشمس عند استخدام الأجهزة الكهروبصرية بل يكون اتجاه التسديد بعيداً عن الشمس لتجنب تأثير الإشعاعات .

م - القياس باستخدام الأجهزة للمايكروية بالقرب من خطوط الضغط الكهربائي العالي أو الأبراج للمايكروية (Microwave Towers) تؤدي إلى انخفاض الدقة .

ن - كون خطوط النظر (خطوط التسديد) قريبة من سطح الأرض مما يؤثر على دقة الجهاز بسبب ظاهرة الويميش (Shimmering Phenomenon) .

ك - كل جهاز يحمل خطأ معيناً ولكن الأنواع المختلفة من الأجهزة ليست على نفس المستوى من الدقة. بشكل عام كلما ارتفع ثمن الجهاز كلما كانت الدقة للتوخيخ منه أفضل .

ع - لا يتطابق أو بالأحرى لا يقع مركز إطلاق الطاقة من الجهاز على خط رأسي واحد مع عطة الرصد كما لا يقع مركز انعكاس الطاقة من العاكس على خط رأسي واحد مع الهدف للرصد (حيث يثبت العاكس). يجري عادة حساب الفرق وإدخال التصحيح اللازم من قبل صانع الجهاز بشكل أو آخر، أو ربما إجراء التصحيح ميدانياً ولابد هنا من مراعاة كاتولوج الجهاز مع ملاحظة نوع العاكس (والفرق الخاص به) الذي سيستخدم مع جهاز القياس في الميدان. كذلك لابد من

معايرة الجهاز كل حوالي ستة شهور على الأكثر نظراً لاحتمال تغير الأخطاء الثابتة للشار إليها في الكاتالوج. تجري عادة للمعايرة باستخدام خط أساسي مقيس للمسافة بشكل دقيق جداً على أن يؤخذ بعين الاعتبار كافة التصحيحات المعادلة لفسروق الارتفاعات والعوامل الجوية وغيرها. إن الحاجة لمعايرة الأجهزة الإلكترونية قائمة (حتى مع الاستعمال الجيد وشروط الحفظ الجيدة لها) ويرامى أن تجسري عملية للمعايرة على أيدي متخصصين .

5 - 8 الأخطاء الثابتة والخطيرة في قياس المسافات بالأجهزة الإلكترونية :

عند مناقشة الأخطاء في المسافات للقيسة بواسطة الأجهزة الإلكترونية، لابدّ من التمييز بين الأخطاء الثابتة والخطيرة . أما الخطأ الثابت (Constant Error) فكل الأجهزة الإلكترونية تعاني منه وهو على أي حال صغير إذ يتراوح بين $15 \text{ mm} \pm 10 \pm 6$. الخطأ الثاني للتغير يتناسب مع مقدار المسافة للقيسة ويتراوح بين جزئين إلى عشرة أجزاء من كل مليون جزء ($2 \text{ to } 10 \text{ parts per million (ppm)}$) أي لا يتجاوز 1 cm لكل 1 km من المسافة للقيسة .

من الطبيعي أن يؤثر الخطأ الثابت على دقة قياس المسافات القصيرة أكثر من تأثيره على دقة للمسافات الطويلة إذ يصبح هذا الخطأ صغيراً نسبياً بازدياد المسافة للقيسة بينما ، وعلى العكس من ذلك، نلاحظ أن الخطأ للتغير يزداد بازدياد المسافة وبالتالي يزداد تأثيره بازدياد المسافة للقيسة . على سبيل المثال، في قياس مسافة مقدارها 50 m باستخدام جهاز EDM خطأه الثابت $1 \text{ cm} \pm$ وخطأه للتغير 5 ppm يكون مقدار الخطأ النسبي المعادل للخطأ الثابت مساو :

$$\pm \frac{1 \text{ cm}}{50 \times 100 \text{ cm}} = \frac{1}{5000} = 200 \text{ parts per million (i.e. } 200 \text{ ppm)}$$

وهذا يكرر الخطأ للتغير للجهاز بأربعين مرة بينما نجد قيمة الخطأ للتغير للتغير للتناسب مع المسافة للقيسة لا تتعدى :

$$\pm \left(\frac{5}{1000000} \times 50 \text{ m} \right) = \pm 0.025 \text{ cm}$$

وهذا للتقدير أصغر من الخطأ الثابت بأربعين مرة ($\frac{1 \text{ cm}}{0.025 \text{ cm}} = 40$)

أي بمقارنة أخرى يتكرر الخطأ للتغير مهملاً في حالة المسافات القصيرة . في حالة المسافات الطويلة نجد عكس ذلك تماماً، إذ لو استخدم نفس جهاز الـ EDM لقياس مسافة طولها 10 km بدلاً من 30 m لكان الخطأ النسبي للخطأ الثابت لهذا الجهاز مساوياً .

$$\pm \frac{1 \text{ cm}}{10\,000 \times 100 \text{ cm}} = \frac{1}{1\,000\,000} = 1 \text{ ppm}$$

وهذا بالطبع خطأ صغير مهمل (لاحظ أنه أصغر من الخطأ للتغير للجهاز، والبالغ 5ppm بمخمس مرات).

أما الخطأ للتغير لنفس الجهاز للمساوي 5ppm فيصبح كبيراً في هذه الحالة إذ يساوي:

$$\pm \left(\frac{5}{1\,000\,000} \times 10\,000 \text{ m} \right) = \pm 5 \text{ cm}$$

وهذا يعادل خمسة أضعاف الخطأ الثابت .

إن مجموع الخطأين الـ (الثابت والتغير) للمسافة للقياس، أي 10 km، يساوي :

$$\pm (1 \text{ cm} + 5 \text{ cm}) = \pm 6 \text{ cm}$$

والخطأ النسبي لما يعادل 6 ppm، أو :

$$\pm \left(\frac{6}{10\,000 \times 100 \text{ cm}} \right) = \pm \frac{1}{166\,666}$$

يعود الخطأ الثابت للجهاز الإلكتروني (Instrumental Error) بشكل رئيسي إلى عدم وقوع مركز إرسال الموجات الكهرومغناطيسية في الجهاز الإلكتروني رأسياً فسوق محطة القياس (EDM Station) وكذلك عدم وقوع للركيز البصري للماكس رأسياً فوق محطة العاكس (Reflector Station) في حالة استخدام الأجهزة الكهرو بصرية (Electro-Optical Equipment).

للتأكد من عدم تجاوز خطأ الجهاز الثابت القيمة للمطابقة من قبل الصانع، يمكن على سبيل المثال - كأحد الحلول - استخدام الجهاز الإلكتروني للراد معايرته في قياس للمسافة بين طرفي خط أسلي (Base Line) ذي طول معلوم بدقة عالية ثم مقارنة نتيجة القياس، بعد تصحيحها من تأثير الأحوال الجوية ولية تأثيرات نظامية أخرى، بالطول المعلوم للخط الأساسي. بالطبع الخطأ للتغير للجهاز يتكرر في هذه الحالة مهملاً نتيجة لصغر المسافة .

ملحوظة :

إذا أُحرِيت للمسافات للقيسة باستخدام الأجهزة الإلكترونية جميع التصحيحات المتعلقة بالأحوال الجوية (حرارة، رطوبة، ضغط)، وتمت القياسات اللازمة لحساب للمسافة بدقة عالية، وكان الجهاز مضبوطاً ومدققاً عليه، فإنه يمكن الحصول على دقة أفضل من 1/50 000 (أي خطأ 1 cm لكل 500 m من للمسافات للقيسة) لجميع للمسافات التي تتعدى أطولها الكيلومتر الواحد ودقة أفضل من (1/25000) للمسافات التي تتراوح أطولها بين 1 km ± 0.5 . بالطبع لا يمكن الحصول على مثل هذه الدقة باستخدام الشريط ولو انخفضت كل الاحتياطات الحقلية الضرورية وتمت التصحيحات النظامية ومع ذلك يمكن التفكير باستخدام الشريط في حالة للمسافات القصيرة جداً ، أي بضع عشرات من الأمتار، وفي ظروف طبوغرافية أو فنية أو اقتصادية معينة. إن هذا يعود بشكل رئيسي للتأثير الكبير للخطأ الثابت على للمسافات القصيرة، كما ذكرنا أعلاه .

5- 9 ملحوظات عامة [17م] [33م] [37م] [54م]

- 1 - إن أجهزة قياس للمسافات الإلكترونية تستخدم موجات بلهذبات معلقة ثابتة (Constant Modulation Frequency) وبالتالي فعند تغير سرعة انتشار الضوء أو للموجات الدقيقة في الوسط الهوائي نتيجة تغير الشروط الجوية المحيطة من ضغط وحرارة ورطوبة، يتغير طول الموجة على أسس أن : طول للموجة \times التردد = السرعة. فمع بقاء التردد ثابتاً يتغير طول للموجة بتغير السرعة ، إذن لابد من إدخال عامل تصحيح (Correction Factor) لتعويض هذا التغير في طول للموجة والناتج كما ذكرنا عن التغيرات في الشروط الجوية عند إجراء عملية القياس. يزداد عادة صانع الجهاز الإلكتروني جداول ونوموغرامات (Tables and nomograms) تعطي مقدار عامل التصحيح C_m للشروط الجوية (C_m : Meteorological Correction) بدلالة الضغط والحرارة (Temperature) . إن عامل التصحيح هذا يعتمد أيضاً على طول للموجة المستعملة. في حالة استعمال الأجهزة الإلكترونية التي تعمل على الأشعة

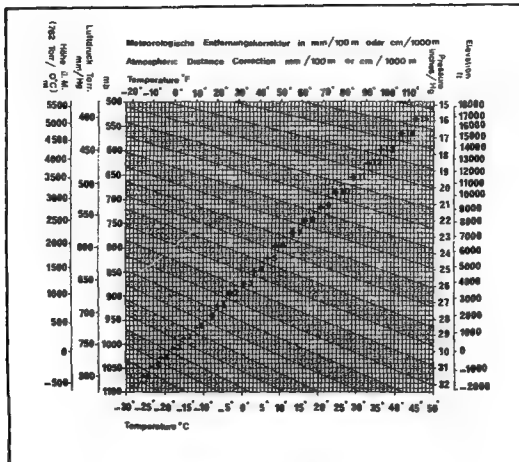
تحت الحمراء (Infrared EDM) فإن عامل التصحيح c هو نفسه لجميع هذه الأجهزة نظراً لكونها تستعمل نفس للوجة الحاملة (Carrier Wave).

الأسلاك أو النوموغرام، شكل (5-10) ، يستعمل لإيجاد قيم عامل التصحيح c الواجب إدخالها على المسافات للقيسة بواسطة جهازي Kern DM 502, DM 500 Kern مقدرة بعدد من المليمترات لكل مئة متر (mm/100m) . من الضروري ملاحظة أن التصحيحات يمكن أن تكون بالزيادة أو بالنقصان (موجبة أو سالبة) كما هو واضح من النوموغرام.

2 - عند قياس مسافات طويلة (عشرات الكيلومترات) فيتم إجراء قياسات الأحوال الجوية بشكل دقيق نظراً لتأثيرها البالغ على نتائج القياسات . لذا يستحسن أخذ قياسات الحرارة والرطوبة والضغط عند عدة مواقع متوسطة مميزة بين طرفي الخط للسرد قياسه بالجهاز الإلكتروني ومن ثم أخذ معدل القراءات لمختلف البنود وإجراء التصحيح اللازم على أسس هذه القيم للتوسطة . في حالة للمسافات القصيرة (بضع مئات من الأمتار) والمسافات للتوسطة (بضع كيلومترات) يمكن الاقتصاد على أخذ قراءات للأحوال الجوية عند طرفي للمسافة فقط وأخذ معدل القراءات . في حالة للمسافات الطويلة جداً (مئات الكيلومترات) قد يلزم أحياناً الطيران فوق الخطوط وهذا بالطبع يؤدي إلى دقة أعلى في أجواء التصحيحات على الأحوال الجوية.

3 - في بعض الأجهزة مثل Kern Dm 502 - وكما ذكرنا سابقاً - يتم الاستعانة بنوموغرام (Nomogram) خاص لتصحيح الأخطاء الناجمة عن الأحوال الجوية والبعض الآخر مثل Packard 3800 - Howitt يمكن من إجراء التصحيح للتغيرات الجوية مباشرة في أثناء عملية القياس ودون الحاجة إلى جدول أو رسوم.

4 - من الضروري تجنب الأخطاء الشخصية (Personal Errors) في أثناء عملية القياس بالأجهزة الإلكترونية . من هذه الأخطاء على سبيل المثال، عدم الدقة في تثبيت الجهاز رأسياً فوق محطة القياس (Improperly Setting over the Station)، خطأ القراءة



شكل 5 - 10 قيم عامل التصحيح من الواجب إدخالها على المسلات المثبتة
 بواسطة جهازي Kern BM 500, 502 الإلكترونيين ، على سبيل المثال فقط [51م]

(مستخدمة) ، عدم قياس درجة الحرارة أو قيم الضغط والحرارة بدقة ... الخ،
(انظر الشكل 5-10).

5 - من العوامل التي تؤثر على المدى الذي يمكن أن يبلغه جهاز قياس للمسافات الإلكترونية ، نذكر :

أ - نوع الجهاز من حيث التصميم (بشكل خاص) .

ب - نوع العاكس المستخدم مع الجهاز .

ج - عدد العواكس المستخدمة في وقت واحد أثناء القياس .

د - الشروط الجوية .

6 - يفضل أن يكون لدى العاملين على أجهزة للمساحة الإلكترونية خلفية جيدة في مواضيع الفيزياء والرياضيات والإلكترونيات.

7 - يفضل إصلاح وصيانة الأجهزة (صيانة رئيسية) وتعديلها على أيدي متخصصين من نفس الشركة الصانعة.

8 - مثلما أن القياسات باستعمال أجهزة المستومات يمكن أن تكون دقيقة جداً فهي أيضاً يمكن أن تكون خاطئة جداً في غياب الكفاءة لدى العاملين على هذه الأجهزة والإلمام ببرامجها لا يستغرق الوقت الطويل ولا يتطلب خلفية علمية قوية نظراً لأن معظم العمليات للبيانات والحسابية (الخاصة بالقياسات للأخوة بواسطة هذه الأجهزة) تتم أوتوماتيكياً. وعليه ينصح باتفاق ما بين (5 %) إلى (10%) من ثم الأجهزة على تدريب القائمين على هذه الأجهزة (للساحون العاملون عليها) وإن لا يمكنهم عرض وشرح الجهاز ليضع ساعات عند تسليم الجهاز للمشتري.

9 - يعتمد عدد العدسات العاكسة على مدى للمسافة المراد قياسها وعلى شروط الرؤية أثناء عملية القياس . كلما زادت للمسافة أو/و ساعات شروط الرؤية كلما احتجنا لعدد أكبر والعاكس صحيح . عند تحقق شروط الرؤية الجيدة، يمكن القول بأن مدى القياس للأجهزة الكهرومصرية تتضاعف بتربيع عدد العدسات العاكسة. على

سبيل المثال ، إذا كان بالإمكان قياس مسافة بطول (1.5 km) بواسطة جهاز كهرومغناطيسي معين مع توفر ثلاث عدسات عاكسة فإن بالإمكان زيادة المدى إلى حوالي (3 km) بزيادة عدد العدسات العاكسة إلى تسع بدلاً من ثلاث، وهذا بالطبع صحيح ضمن حدود معينة وفي ظروف معينة أيضاً .

10 - إن كلمة ليزر (Laser) مشتقة من الحروف الأولى للكلمات التالية :

"Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation" يقوم جهاز الليزر بتوليد موجات ضوئية خفيفة الكثافة (Low-Intensity Light Waves) ومن ثم تضخيمها إلى حزمة ضوئية عالية الكثافة لا تنتشر عند إطلاقها باتجاه الهدف إلا بزاوية ضيقة جداً حتى ولو كان هذا الهدف على مسافة بعيدة . تقع أشعة الليزر هذه ضمن المجال الطيفي $0.4 - 1.2 \mu\text{m}$. عند التعامل مع أشعة الليزر لابد من اتخاذ الاحتياطات اللازمة بشأن وقاية العيون.

11 - تقع أطوال للوجات للميكروية (Microwaves) المستخدمة في أجهزة قياس للمسافات الإلكترونية ضمن المجال الطيفي $(10 - 100 \mu\text{m})$.

12 - معظم الأجهزة الإلكترونية المستخدمة في وقتنا الحاضر في قياس للمسافات المدى لا يتجاوز الخمسة كيلومترات هي من النوع الذي يستخدم للوجات تحت الحمراء $(0.7 - 1.2 \mu\text{m})$. فيما يتعلق بالمسافات الأطول هناك أكثر من نوع شائع الاستخدام ومن بينها ما يستخدم أيضاً للوجات تحت الحمراء لقياس مسافات يتجاوز مداها الخمسة عشر كيلو متراً .

13 - هناك أجهزة ترسل أمواج ليزر وتحتضن ضالة في قياس للمسافات ضمن المدى القصير

والتوسط خصوصاً في ظروف الرؤية السيئة نظراً لأن الأشعة الليزرية مرئية (بعكس الأشعة تحت الحمراء غير للرؤية والشائعة الاستعمال في قياسات مسافات للسدى القصص). باستخدام أجهزة الليزر يمكن استخراج للسافة بين الجهاز ونقاط أخرى صعبة (أبراج، نقاط ضمن قيعان عميقة، رأس أنتين .. الخ) من خلال توجيه منظار الجهاز باتجاه النقطة الصعبة (المهدف) ووضع نقطة أو إشارة ضوء تحت حمراء (Timed - Pulse Infrared Signal) على هذا الهدف (بواسطة الليزر) ومن ثم ضغط زر خاص لمعرفة مقدار للسافة المطلوبة. يجدر بالذكر هنا أنه لا يلزم بالضرورة استخدام عاكس لغايات قياس للسافات باستخدام النبضات الضوئية تحت الحمراء (النقاط الضوئية للرسلة من جهاز ليزر خاص لهدف معين) وإنما يكفى معرفة الفترة الزمنية التي استغرقتها الإشارة ذهاباً وإياباً باتجاه الهدف . بقي أن نقول أن مدى للسافات الممكن قياسها بواسطة هذه الأجهزة يتراوح بين 150m إلى 300m (حسب شروط الرؤية للتوفرة) تقريباً بدون استخدام عدسات عاكسة (أو أية أجهزة عند الهدف) ويصل إلى بضعة كيلومترات وربما ما يزيد على عشرة كيلومترات مع استخدام العدسات العاكسة . يجدر بالذكر هنا ضرورة مراعاة عدم وجود أجسام (سيارة ، غصن شجرة .. الخ) في طريق النقطة سوف تنعكس من مثل هذه الأجسام وليس من الهدف ذاته المراد قياس بعده عن موقع الجهاز الإلكتروني وبالتالي تكون للسافة الناتجة هي ما بين الجهاز وأول جسم تصطدم به هذه النقطة في طريقها إلى الهدف . للتغلب على هذه للمشكلة يلجأ عادة إلى إرسال حزمة ليزرية مرئية من الجهاز إلى الهدف للطلوب للتأكد من التحديد الدقيق له وعدم وجود عوائق في طريق الإشارة الكهرومغناطيسية التي سوسلها الجهاز الإلكتروني إلى الهدف لغايات قياس بعده . تعتمد دقة القياس في غياب العدسات العاكسة على لون وطبيعة وميل سطح الهدف وكلما كان الهدف بلون فاتح وفي وضع متعامد مع حزمة الأشعة الكهرومغناطيسية للاستخدمة لأغراض القياس كلما كانت الدقة أعلى وقد تصل إلى المجال $\pm (5\text{ mm} + 5\text{ ppm})$ وأما في حالات الأهداف

للظلمة (أو الداكنة) و/أو للثقل (أو على شكل حافة) فإن مدى القياس سوف يقل كما أن الدقة سوف تنخفض بشكل معتبر .

14 - في جميع الحالات يجب تجنب وجود مرآيا ومعادن لامعة أو عاكسة بجوار العدسات العاكسة (Reflecting Prisms) ولا يجري أخذ القياسات في مثل هذه الحالات .

15 - لابد من معايرة الأجهزة كل بضعة شهور بالاستعانة بخطوط أساسية مناسبة.

16 - يجري تدوين للعلومات المستخرجة إما على دفتر الحقل (Field Book) أو تسجيلها

ضمن جهاز الكتروني خاص بجمع المعلومات ملحق بالجهاز (Data Collector).

17 - في أي من الحالتين التاليتين يتوجب إدخال التصحيحات الخاصة بالعوامل الجوية وبانحناء الأرض :

- إذا كان فرق للنسوب بين طري للسافة يتجاوز للمائتي متر (تقريباً) .

- إذا كانت الدقة المطلوبة أفضل من (1/50000) .

18 - لكل نوع من أجهزة للساحة الإلكترونية برنامجاً وأسلوباً خاصاً به فيما يتعلق بشؤون للصناعة والطاقة والتشغيل والمعايرة والتعديل والصيانة.

19 - لجميع أجهزة قياس للسافات الإلكترونية المخصصة لقياس للسافات فقط، أدوات

ربط (وصلات أو تكييف أو مطابقة) (Adapters) بأجهزة ثيودوليت معينة بحيث

يمكن استخدامها بشكل مستقل (لأغراض قياس للسافات والزوايا معياً. يختلف

أدوات الربط هذه عن بعضها وفقاً لنوع جهاز قياس للسافات (الدمستومات

Distant or Electronic Distance Meter) ونوع جهاز الثيودوليت المراد الربط أو الوصل

به. وبشكل عام تتألف أدوات الربط أساساً من جزئين رئيسيين أحدهما مثبت

بأسفل جهاز الدمستومات والآخر مثبت على سطح منظار الثيودوليت.

20 - يمكن العمل بجهاز الدمستومات لمدة تتراوح بين 4 إلى 6 ساعات بشكل متواصل إذا

كان يعمل من خلال بطارية خارجية كما يمكن العمل لمدة حوالي ساعة ونصف

من خلال البطاريات الداخلية . أما شحن هذه البطاريات الخارجية والداخلية

فيحتاج لمدة تتراوح بين 12 إلى 15 ساعة. يراعى أن لا يشغل الجهاز بين القسراءة

والأخرى توفيراً لطاقة البطاريات وبالتالي إجراء القياسات لمدة أطول. وفي

حالات الضرورة (الحاجة لمواصلة العمل مع وجود ضعف في البطاريات) يجري وصل جهاز القياس الإلكتروني (الدمتومات) ببطارية السيارة من خلال سلك خاص.

21 - تغير سرعة انتشار الموجة الضوئية (أي للموجة الكهرومغناطيسية) بتغير درجة الحرارة (Temperature) والضغط (Pressure) والضغط الجزئي لبخار الماء (Partial Pressure of Water Vapor) ويمكن حسابها بدقة بمعرفة هذه القيم بالإضافة إلى طول الموجة المستعملة (λ) وسرعة الضوء في الفراغ (Velocity of Light in the Vacuum) بالقسمة

$$299792.5 \text{ km/sec}.$$

إن العلاقة الرياضية التي تعطي سرعة الضوء في الهواء بدلالة سرعته في الفراغ هي :

$$V_a = \frac{c}{n_a} \dots \dots \dots (2-5)$$

V_a : is the velocity of the light wave in air . سرعة الضوء في الهواء
 c : is the velocity of light in a vacuum = 299792.5 km/sec. سرعة الضوء في الفراغ
 n_a : is the refractive index of the air under the given atmospheric conditions.
 معامل انكسار الهواء تحت شروط القياس الفعلية

إن العلاقة الرياضية التي تعطي معامل الانكسار للموجات الضوئية (Light Waves) تحت شروط القياس الجوية هي :

$$n_a = 1 + \frac{0.359474(n_s - 1)P}{273.2 + t} - \frac{1.5026(e)10^{-4}}{273.2 + t} \dots \dots \dots (3-5)$$

حيث :

P = atmospheric pressure, in millimetres of mercury (torr).
 (الضغط الجوي مقدرًا بـ مم زئبق)

t = air temperature , in degrees celsius
 (درجة حرارة الهواء مقدرة بـ الدرجات المئوية)

e = the vapor pressure, in torr
 (ضغط بخار الماء مقدرًا بـ مم زئبق)

n_s = the refractive index of standard air for light waves
 (معامل الانكسار للموجات الضوئية تحت الشروط الجوية النظامية)

إن العلاقة الرياضية التي تعطي قيمة معامل الانكسار n_a هي :

$$n_g = 1 + (287.604 + \frac{4.8864}{\lambda_c^2} + \frac{0.068}{\lambda_c^4}) \times 10^{-6} \dots\dots\dots(4-5)$$

حيث :

λ_c = the wave length of the light carrier in micrometers.

طول للوحة مقطرة بالميكرومتر (um)

22 - عند قياس المسافات باستخدام أجهزة إلكترونية تعمل على الموجات الدقيقة

(Microwave EDM's) ، لابد من أخذ تأثير الرطوبة النسبية بعين الاعتبار أي قياس

ضغط بخار الماء قياساً دقيقاً وتطبيق للمعادلة التالية لحساب معامل الانكسار (n_e)

للموجات الدقيقة (Refractive Index of Microwaves) :

$$(n_e - 1)10^6 = \frac{103.49}{273.2 + t}(P - e) + \frac{86.26}{273.2 + t}(1 + \frac{5748}{273.2 + t})e \dots\dots(5-5)$$

حيث : P , t , and e هي نفس الوحدات والرموز المستخدمة في المعادلة (3 - 5) .

أما سرعة انتشار للوجات الدقيقة (Velocity of Propagation of Microwaves)

فتعطى بالعلاقة التالية :

$$V_r = \frac{c}{n_r} \dots\dots\dots(6-5)$$

10 - 5 الميزات الفنية لأجهزة المساحة الإلكترونية :

نبين فيما يلي ، وعلى سبيل المثال فقط ، لميزات الفنية لبعض أجهزة القياس

الكهرو بصرية (الجدول رقم 5 - 1) وبعض أجهزة المحطة الشاملة (الجدول رقم

(2 - 5) .

مثال 5 - 1 :

قيست المسافات والزوايا الأفقية البنية في الشكل (17-5) وكانت كما هو مبين على

الشكل نفسه وذلك بطريقة الإشعاع وباستخدام جهاز محطة شاملة (أو محطة

متكاملة)، المطلوب :

1 - حساب إحداثيات النقاط (A) ، (B) ، (C) .

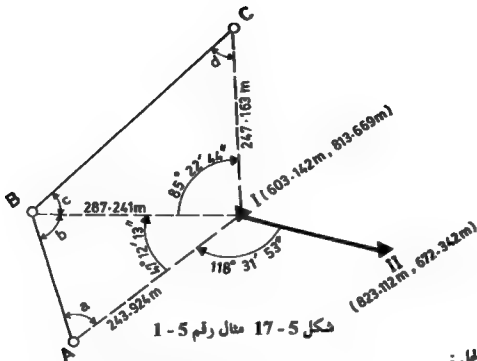
2 - حساب الزوايا الأفقية والأطوال المجهولة من المثلث (A, B, C) .

جدول رقم 5- 1 المواصفات الفنية لبعض أجهزة القياس الكهروضوئية
(Characteristics of Some Electro-Optical EDM Instruments)

العلامة واسم الشركة الصانعة Model (Manufacturer)	النطاق Range	دقة القياس في مجال درجات الحرارة لنطاق Accuracy Within Optimum Temperature Range	مجال درجات الحرارة لنطاق أداء تشغيل الجهاز Optimum Operating Temperature Range	الوزن Weight	أبعاد الأجهزة Dimensions
Goodimeter 112 (AGA Goodimeter, Inc)	5.5 km	$\pm (5 \text{ mm} + 5 \text{ ppm})$	- 20°C to + 30°C	2.6 kg	220 × 120 × 90mm
HP3805 A Distance Meter (Hewlett-Packard, Inc)	1.6 km	$\pm (7 \text{ mm} + 7 \text{ mm/km})$	- 10°C to + 40°C	7.7 kg	232 × 318 × 275mm
Range master III (Kouffil & Esser Co.)	60 km	$\pm (5 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$	- 6 °C to + 43°C	25 kg	317 × 228 × 434mm
ME3000 Meikometer (Kern Instruments, Inc)	2.5 km	$\pm (0.2 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$	- 9 °C to + 40°C	14.5 kg	460 × 160 × 220 mm
Wild D14 Distomat (Wild Heerbrugg Instruments, Inc.)	2.5 km	$\pm (5 \text{ mm} + 5 \text{ mm/km})$	- 25 °C to + 50°C	1.9 kg	190 × 60 × 60 mm
Zeiss Eldi 2 (Carl Zeiss, Inc.)	5 km	$\pm (10 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$	- 20 °C to + 60°C	4.3 kg	135 × 120 × 155 mm

جدول 5-2 المميزات الفنية لبعض أجهزة القياس الشاملة (Total Stations) [33م]

الطرز واسم الشركة الصانعة للجهاز Model (Manufacturer)	المدى الاقصى للجهاز Max. Range	دقة القياس في مجال درجات الحرارة التالى Range Accuracy Within Optimum Temperature Range (RMS error)	مجال درجات الحرارة التي اثناء تشغيل الجهاز Optimum Operating Temperature Range	مقدار البعد الأصغرى (القسرابة الصغرى المباشرة عن الجهاز) Least Count in		توفر جامع للمعلومات Data Collector Available
				Horizontal Angle	Vertical Angle	
Goodimeter 140 (AGA (Manufacturer)	5.5 km	$\pm (5\text{mm} + 5\text{ppm})$	-20°C to +50°C	2"	2"	Yes
HP 3820 A (Hewlett Packard Inc.)	5 km	$\pm (5\text{mm} + 5\text{ppm})$	-10°C to +40°C	1"	1"	Yes
Kern Electronic Theodolite with DM 502 Distance Meter (Kern Instruments, Inc.)	6.5 km	$\pm (3\text{mm} + 5\text{ppm})$	-20°C to +50°C	1"	1"	Yes
Sokkia SDM2R (Distributed in the U.S. by The Lister Co.)	2.5 km	$\pm (5\text{mm} + 5\text{ppm})$	-20°C to +50°C	10"	10"	Yes
Wild TC1 Total Station (Wild Heerbrugg Instrument, Inc.)	2.0 km	$\pm (5\text{mm} + 5\text{ppm})$	-20°C to +50°C	2"	3"	Yes
Zeiss Elta 2 (Carl Zeiss Inc.)	5 km	$\pm (5\text{mm} + 2\text{ppm})$	-20°C to +60°C	0.6"	0.6"	Yes
Leica TC 1800 L	5 km	$\pm (5\text{mm} + 5\text{ppm})$	-20°C to +50 °C	1"	1"	Yes (Card)
Sokkia Set 2C	40 km	$\pm (5\text{mm} + 5\text{ppm})$	-20°C to +50°C	2"	2"	Yes
Sokkia Set 3C	≡	$\pm (3\text{mm} + 3\text{ppm})$	≡	3"	3"	Yes
Sokkia Set 4C	≡	$\pm (5\text{mm} + 3\text{ppm})$	≡	5"	5"	Yes
Leica TCA 1800 L	5 km	$\pm (5\text{mm} + 5\text{ppm})$	≡	1"	1"	Yes



الحل :

$$\alpha_{I,II} = \tan^{-1} \left(\frac{823.112 - 603.142}{672.342 - 813.669} \right) = 122^\circ 43' 12''$$

$$\alpha_{I,A} = 122^\circ 43' 12'' + 118^\circ 31' 53'' = 241^\circ 15' 05''$$

$$\alpha_{I,B} = 241^\circ 15' 05'' + 47^\circ 12' 13'' = 288^\circ 27' 18''$$

$$\alpha_{I,C} = 288^\circ 27' 18'' + 85^\circ 22' 44'' = 13^\circ 50' 02''$$

$$X_A = 603.142 + 243.924 \sin (241^\circ 15' 05'') = 389.284\text{m}$$

$$Y_A = 813.669 + 243.924 \cos (241^\circ 15' 05'') = 696.349\text{m}$$

$$X_B = 603.142 + 287.241 \sin (288^\circ 27' 18'') = 330.673\text{m}$$

$$Y_B = 813.669 + 287.241 \cos (288^\circ 27' 18'') = 904.598\text{m}$$

$$X_C = 603.142 + 247.163 \sin (13^\circ 50' 02'') = 662.241\text{m}$$

$$Y_C = 813.669 + 247.163 \cos (13^\circ 50' 02'') = 1053.663\text{m}$$

$$\alpha_{AB} = \tan^{-1} \left(\frac{330.673 - 389.284}{904.598 - 696.349} \right) = 344^\circ 16' 51''$$

$$\alpha_{BC} = \tan^{-1} \left(\frac{662.241 - 330.673}{1053.663 - 904.584} \right) = 65^\circ 47' 26''$$

$$\begin{aligned}
\hat{a} &= \alpha_{AB} - \alpha_{AB} = (241^\circ 15' 05'' - 180^\circ) - 344^\circ 16' 51'' = 76^\circ 58' 14'' \\
\hat{b} &= \alpha_{BA} - \alpha_{BA} = (344^\circ 16' 51'' - 180^\circ) - (288^\circ 27' 18'' - 180^\circ) \\
&= 55^\circ 49' 33'' \\
\hat{c} &= \alpha_{BC} - \alpha_{BC} = (288^\circ 27' 18'' - 180^\circ) - 65^\circ 47' 26'' = 42^\circ 39' 52'' \\
\hat{d} &= \alpha_{CA} - \alpha_{CA} = (65^\circ 47' 26'' + 180^\circ) - (13^\circ 50' 02'' + 180^\circ) \\
&= 51^\circ 57' 24''
\end{aligned}$$

وللتحقق الحسابي دعنا نجمع كافة الزوايا الداخلية للمضلع للحدود (ABCI) :

$$\begin{aligned}
&(55^\circ 49' 33'') + (42^\circ 39' 52'') + (51^\circ 57' 24'') + (85^\circ 22' 44'') \\
&+ (47^\circ 12' 13'') + (76^\circ 58' 14'') = 360^\circ 00' 00''
\end{aligned}$$

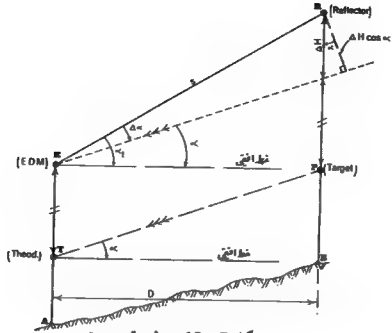
مثال 5 - 2 :

قيست للمسافة المائلة (S) بين نقطتين (A)، (B)، شكل (5-18) فوجدت مساوية:
 $S = 218.624 \text{ m}$ ، لارتفاع مركز القاسم الإلكتروني (EDM) فوق النقطة (A) يساوي
 $(h_A = 1.60 \text{ m})$ ولارتفاع مركز العاكس فوق النقطة (B) يساوي $(h_B = 1.63 \text{ m})$ ، الزاوية
 الرأسية للقيسة باتجاه هدف و تقع رأسياً فوق النقطة (B) بمقدار (1.43 m) تساوي
 $(8^\circ 6' 4'')$ من ثيودوليت مركزه يقع رأسياً فوق النقطة (A) بمقدار $(m = 1.50)$. المطلوب
 حساب مقدار المسافة الأفقية (D) بين النقطتين (A)، (B) .

ملحوظة :

1 - افترض عند الحل أن للمسافة المائلة للقيسة (S) قد تم تصحيحها من أعطاء الجهاز
 (Instrumental Errors) والعوامل الجوية (Meteorological Conditions) .

2 - الشروط الواردة في هذه المسألة يمكن مواجهتها عند عدم توافيق مركز جهاز الـ
 EDM مع مركز جهاز قياس الزوايا (الثيودوليت) وكذلك عند عدم إمكانية رصد
 مركز العاكس (reflex) لوجود عائق رؤية مما يحتم رصد نقطة أخرى أسفل أو
 على مركز العاكس بمسافة رأسيه محددة .



شكل 5-18 مثال رقم 5-2

الحل :

ملاحظة الشكل (5-18) أعلاه ، لدينا :

$$\Delta H = (BR - BP) - (AE - AT)$$

$$\Delta H = (1.65 - 1.45) - (1.60 - 1.50) = 0.1m$$

$$\sin \Delta \alpha = (\Delta H)(\cos \alpha) / S$$

$$\sin \Delta \alpha = (0.1) (\cos 8^\circ 6' 4'') / (218.624)$$

$$\Delta \alpha = 1' 33''$$

وعليه فإن زاوية ميل الخط للقيس (BR) عن الوضع الأفقي تساوي :

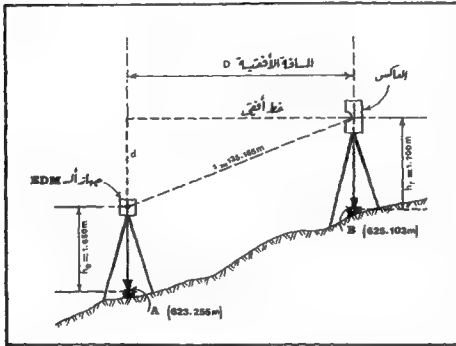
$$\alpha_1 = \alpha + \Delta \alpha = 8^\circ 6' 4'' + 1' 33'' = 8^\circ 7' 37''$$

للمسافة الأفقية (D) بين النقطتين (A) و (B) تساوي :

$$D = S \cos(\alpha_1) = 218.624 \cos(8^\circ 7' 37'') = 216.428m$$

مثال 5 - 3 :

قيست للمسافة للأتلة (S) بين مركز قنص إلكتروني (EDM) ومركز عاكس (Reflector) فوجدت مساوية ($S = 352.623\text{m}$) ، شكل (5-19) ، ارتفاع مركز الـ EDM فوق النقطة (A) يساوي ($h_a = 1.60\text{m}$) وارتفاع مركز العاكس فوق النقطة (B) يساوي ($h_b = 1.70\text{m}$) ، قيست الزاوية الرأسية (α_1) بين النقطتين (A) ، (B) برصد علامة ارتفاعها فوق (B) يساوي نفس ارتفاع مركز الـ EDM فوق (A) وذلك بواسطة جهاز ثيودوليت مركزه الـ EDM فوق (A) وذلك بواسطة جهاز ثيودوليت مركزه ينطبق على مركز الـ EDM ووجدت مساوية : $\alpha_1 = 21^\circ 12' 22''$. المطلوب حساب للمسافة الأفقية بين (A) و (B) بافتراض أن للمسافة للأتلة للقيسة (S) مصححة من تأثيرات العوامل الجوية .



شكل 5-19 مثال رقم 5 - 3

$$\sin(\Delta\alpha) = (h_2 - h_1) (\cos \alpha_1) / S$$

$$\sin(\Delta\alpha) = (0.1) (\cos 21^\circ 12' 22'') / 352.623$$

$$\Delta\alpha = 55''$$

$$\alpha = \alpha_1 - \Delta\alpha = 21^\circ 12' 22'' - 55'' = 21^\circ 11' 27''$$

$$D = S \cos \alpha = 352.623 \cos(21^\circ 11' 27'') = 328.779 \text{m}$$

الحل :

مثال 5 - 4 :

كيف يمكن توقيع أركان مشروع بناء معين بجوار النقطة (F) شكل (5 - 8) إذا
توفرت إحداثيات هذه الأركان بغض المرجعية الإحداثية للنقاط (A), (B), (C) .

الحل :

يجري ذلك بتحريك الماكس ضمن موقع للمشروع ورصده لأضواء قراءة
الإحداثيات الواردة في جدول إحداثيات الأركان بعد أن يتم :

1 - تثبيت جهاز المحطة الشاملة في النقطة (F) وإتمام عملية التثبيت وضبط
الأفقية.

2 - تشغيل الجهاز بإحداثيات نقطة الرصد (F) .

3 - التوجيه نحو إحدى النقاط للمعلومة الأخرى (A أو B أو C) .

4 - تصغير دائرة الزوايا الأفقية .

5 - تشغيل الجهاز بسمت (لزموت) الخط للمرجعي الذي تم توجيه للنظار وقته كما

جاء في البند (3)، أي FA أو FB أو FC .

مسائل

5-1 في المسافة بين نقطتين (A)، (B) بواسطة جهاز (GSM) تبين أن هناك خطأ مقداره (1/100000) ثانية في قياس الفترة الزمنية التي تستغرقه الحزمة الكهرومغناطيسية في الذهاب والإياب بين هاتين النقطتين (من الهاتف إلى العاكس ثم والعكس من العاكس إلى الهاتف)، للطلوب حساب مقدار الخطأ لأقرب إسم في قياس هذه المسافة علماً بأن سرعة الحزمة الكهرومغناطيسية كانت (300 000 km/sec)، هل يمكن قبول مثل هذا الخطأ؟ ما هو السر أو السبب في هذا الخطأ أو بالأحرى الفلظ الكهرو؟ كيف يجري في واقع الأمر قياس الفترة الزمنية؟

5-2 فيست مسافتان (AB)، (AC) تقعان على خط مستقيم واحد بواسطة شريط الأتظار فوجدتسا مساويتين بعد تصحيح الليل:

$$AB = 854.683 \text{ m} , AC = 113.453 \text{ m}$$

ثم فيست نفس هاتين للمسافتين بواسطة جهاز كهرومصري يولد معايرته فوجدتسا مساويتين، بعد تصحيح الليل، ما يلي:

$$\overline{AB} = 113.452 \text{ m} \quad \overline{AC} = 854.682 \text{ m} .$$

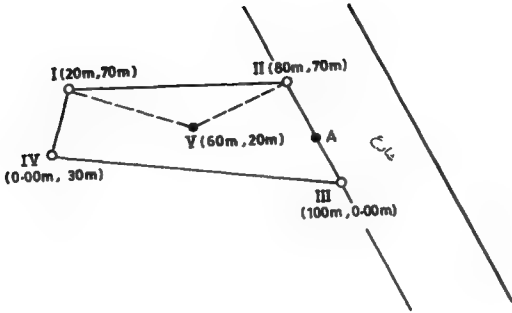
الآن إذا استعملتم نفس الجهاز الإلكتروني للمعاير لقياس مسافة جديدة (بعد إجراء المعايرة) ووجدتسا مساوية (1127.232m) فما هو المقدار الصحيح لهذه المسافة؟ متحراً أن الخطأ ناشيء عن: أ - عامل القياس (أي $\frac{r}{r_0}$) ب- عدم التقاطع للركزي (Zero Crossing) ققط .

5-3 قطعة لرض (I, II, III, IV) إحداثياتها كما هو مبين على الشكل، يراد تقسيمها بين شريكين بنسبة 2:3 شريطة:

- أن يكون الخط (I-V) مشتركاً بينهما .
- أن يكون لكل منهما متغلاً أو واجهة على الشارع .

ملحوظة :

يطلب عمل التحقيق الحسابي اللازم ووصف الخطوط اليدوية باستعمال (GSM) .



4 - 5 كيف يمكن تحقيق القسمة ميدانياً في للسألة السابقة باستخدام جهاز المحطة الشاملة (Total Station)?

- 6 -

الفصل السادس

مقدمة في شبكات الضبط الأفقية والرأسية

**INTRODUCTION TO HORIZONTAL AND VERTICAL
CONTROL NETWORKS**

6- شبكات الضبط CONTROL NETWORKS :

1-6 مقدمة في شبكات الضبط الأفقية الجيوديزية :

Introduction to Geodetic Horizontal Control Networks

1-1-6 تمهيد :

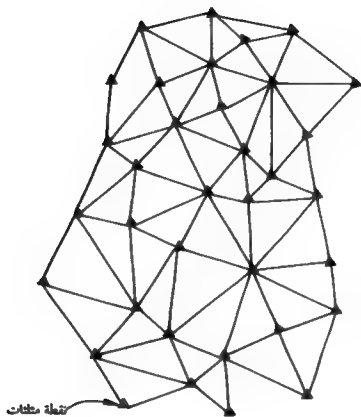
نمين فيما يلي بعض المفاهيم الأساسية في موضوع إنشاء شبكات الضبط الأفقية الجيوديزية. من الطبيعي أن يعود القارئ إلى المزيد من المراجع المتخصصة إذا احتاج إلى المزيد من الشرح والتفصيل. إن ما سورد ذكره في الفقرات التالية عبارة عن عطلات رئيسية تذكر القارئ بما يجب أن يعود إليه ويتوقف عنده سعياً للفهم الكامل والتمكن من التطبيق.

2-1-6 الهدف من إنشاء شبكة الضبط الأفقية الجيوديزية :

إن إنشاء شبكة من نقاط تغطي كامل مساحة البلد ثم تعيين إحداثياتها الأفقية الدقيقة استناداً إلى سطح مرجعي ثابت ، سوف يمكن من ربط كافة الأعمال والنشاطات للمساحة (كإنتاج الخرائط وتوقيع المنشآت للمنطقة وحساب للمساحات والمحسوم.. الخ). بنظام إحداثيات عام (مشترك).

3-1-6 طرق القياسات المستعملة في إنشاء الشبكة الأفقية :

تعد طريقة الثلاثي (Triangulation) من الطرق الشائعة سابقاً، ولم تكن حالياً، في إنشاء شبكات الضبط الأفقية . تتلخص هذه الطريقة في اختيار نقاط تشكل فيما بينها مثلثات بأبعاد متفاوتة وفقاً للدرجة المطلوبة، أولى (قد تصل إلى الخمسين كيلومتراً)، ثانياً، ثالثة ، رابعة ... الخ، شكل (6 - 1) . تقاس بعد ذلك مسافة واحدة (على الأقل) قياساً دقيقاً جداً بالإضافة إلى قياس جميع الزوايا الأفقية لهذه المثلثات بدقة عالية (جيودوليت درجة أولى (First Order Theodolite) . يطلق على المسافة الأفقية للقيمة بـ "الخط الأساسي Base Line" للشبكة . بالنسبة للزوايا الأفقية ، فيجري قياسها بأحد اتجاه الشقار المحلي (Local Vertical) بين الاختيار وهذا بالطبع لا يتطابق مع اتجاه الخط للصاعد مع سطح الامتلاء المرجعي (أي السطح الذي تستند إليه كافة الحسابات) .



شكل 1-6 شبكة محطات من مختلف الدرجات

تتضمن الشبكة بعض النقاط التي يعرف في كل منها مقدار الانحراف بين خط الشاقول المحلي والخط للتعامل مع الاهليج (δ) ، يطلق على مثل هذه النقاط "Laplace Points or Stations". أما النقاط الأخرى من الشبكة فتعرف بمقادير انحراف الشاقول عندما بالتوسط (By Interpolation) استناداً إلى نقاط لابلاسي (معلومة الانحراف). بمعرفة زاوية الانحراف (δ) عند كل نقطة ، يمكن تصحيح الزوايا الأفقية للقيسة لغايات تمثيلها على الاهليج للرحلي. يأتي الآن دور حساب الاحداثيات (x, y) لكافة نقاط الشبكة باستخدام نظرية التريبعات الصغرى (Least Squares Adjustment). ومن حيث الدقة فإنه على سبيل المثال، يمكن تحقيق دقة بمحدود عشرة مستميرات في حالة نقاط الدرجة الأولى (First Order Geodetic Control Points).

حديثاً ومع توفر الأقمار الصناعية وعططات الاستقبال الالكترونية الأرضية أصبح بالإمكان حساب إحداثيات نقاط شبكات الضبط الجيوديزية بدقة وسرعة . ومن الطبيعي أن يجري تكثيف نقاط شبكة الضبط الأفقية لزيادة وتسهيل الأعمال والنشاطات للمساحة الكثيرة الأخرى . تختلف هذه النقاط الجديدة في دقتها وتصنف إلى الدرجة الثانية والثالثة والرابعة بحيث تنخفض الدقة أكثر كلما كبر رقم الدرجة . يعود سبب الانخفاض في الدقة إلى الانخفاض النسبي في دقة البرامج والأجهزة المستخدمة في القياسات لهذه الدرجات للتسلسلة . وكما أن التباعد بين نقاط الدرجة الأولى يمكن أن يصل إلى (50 km) وأكثر من ذلك في بعض الدول ، فإن التباعد بين نقاط الدرجة الأدنى (الرابعة) قد يصل إلى حدود (2 km) ، [13م] [14م] [24م] [33م] [44م] [45م]

ملاحظات :

- 1 - لا بد أن تخضع شبكات الضبط هذه بمختلف درجاتها إلى مراقبة ومتابعة وصيانة وكالة أو شركة مسحية وطنية متخصصة (National Survey Agency).
- 2 - كل عمل مساحي يراد منه حساب الاحداثيات وفق النظام للرجعي العام للدولة، لا بد وأن يكون مرتبطاً بنقاط الشبكة للثلاثية . *

3 - من النقاط أو العلامات الطبيعية التي تختار عادة كتقاطات مثلثات (Triangulation

Points)، أي أركان أو رؤوس للمثلثات للشبكة ، نذكر :

• النقاط الشاهقة والناجئة من المساجد والكنايس والأبراج بالنظر لإمكانية رؤية هذه النقاط من مسافات بعيدة .

• علامات أو إشارات معدنية وغير معدنية تفرس في الأرض على رؤوس التلال والجبال .

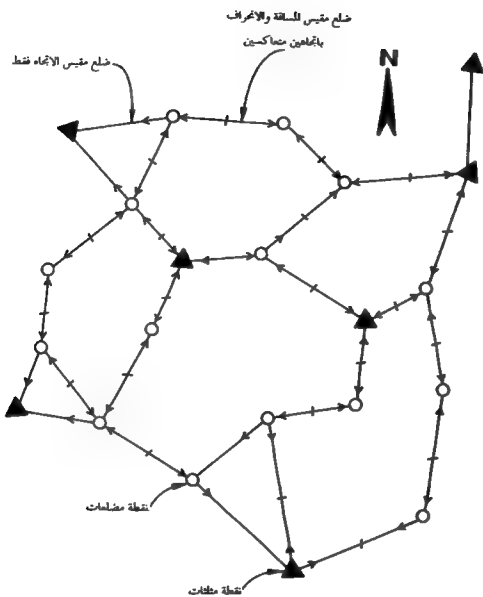
4 - هناك الكثير من الأعمال للمساحة التي تنحصر في مساحات محدودة حيث يكون مقياس رسم الخرائط للمساحة المطلوبة كبيراً. في مثل هذه الحالات وحيثما تكون هذه الأجزاء أو للمساحات المشمولة بالمسح بعيدة عن نقاط شبكة المثلثات (كما في ذلك نقاط الدرجة الأخفض أو الأكثر قرباً من بعضها ، الدرجة الرابعة على سبيل المثال) يجري تكثيف نقاط الدرجة الأخفض كي يمكن ربط هذه الأعمال للمساحة محدودة الاتساع بالشبكة العامة .

5 - من الشائع عملياً ، خصوصاً مع تزايد الإقبال على استخدام أجهزة للمساحة الالكترونية (أجهزة المستويات EDM والمخططة الشاملة Total Station) ، استخدام أسلوب أو طريقة التضمين (Traversing) في أعمال تكثيف نقاط الدرجة الرابعة، شكل (6-2) . في طريقة التضمين هذه ، يصار إلى قياس مسافات وزوايا من موقع للمسح الطبوغرافي (أو غيره من الأعمال للمساحة) ولغاية النقاط الأقرب من نقاط الشبكة العامة (أي يجري غلق كل مضلع من المضلعات للنشأة ضمن منطقة للمسح على نقطة واحدة على الأقل من نقاط الشبكة العامة) . لهذا تكون الإحداثيات المحسوبة لمختلف النقاط في الجزء المشمول بعملية المسح تابعة لنفس نظام إحداثيات الشبكة العامة (National Control Network) .

6-2- مقدمة في شبكات الضبط الرأسية: Introduction to Vertical Control Networks:

لأسباب وموررات شبيهة ب تلك المذكورة في بند شبكات الضبط الأفقية ، هنا أيضاً

لا بد من وجود أو إنشاء مرجع وطني عام وثابت لقياسات التناسيب (National Reference



شكل 6-2 - شبكة مضاعفات تستند إلى نقاط مسح مثلي
من مختلف الدرجات (أولى، ثانية، ثالثة، رابعة)،
تكون بالطبع معلومة الإحداثيات

(Height Datum) تتألف هذه الشبكة من نقاط معلومة الارتفاع فوق للنسب الوسطي للبحر (Mean Sea Level , MSL) . يمثل للنسب الوسطي للبحر (MSL) شكل أو سطح الجيوريد بشكل تقريبي ويمكن تعيينه بأخذ متوسط عدد كبير من قياسات للناسيب لسطح البحر الأقرب (إن وجد) . من هنا لابد من إنشاء نقطة إنطلاق في كل بلد من البلدان بحيث يكون فرق الارتفاع بينها وبين للنسب الوسطي لسطح البحر معلوم وبشكل دقيق. تسمى نقطة الإنطلاق للرجعية هذه " علامة للنسب للرجعية " (Height Reference Point or Height Datum or Bench Mark). الآن وانطلاقاً من واستاداً إلى هذه النقطة للرجعية يصار إلى إنشاء شبكة نقاط مناسيب رئيسية تغطي البلد بكامله . يتم أخذ القياسات وإجراء الحسابات اللازمة لتعيين مناسيب نقاط الشبكة (بالطبع في النظام للرجعي الوطني National Reference System الذي أسسه النقطة للرجعية Bench Mark) بشكل دقيق جداً (First Order Levelling) .

من الطبيعي أن يصار إلى تكثيف شبكة للناسيب الرئيسية لتشمل آلاف النقاط للوزعة على كامل أرجاء البلد وذلك لغايات تسهيل ربط أكبر قدر ممكن من مناسيب النقاط الداخلة في الأعمال للساحية المختلفة بالشبكة الرئيسية (Primary Network). لهذا يمكن تحقيق مرجعية وحيدة للناسيب لمختلف النشاطات الداخلة في إطار العمل للساحي لأي جزء من أجزاء البلد الواحد . يطلق على مجموعة النقاط الجديدة هذه المستندة إلى نقاط الشبكة الرئيسة بـ شبكة نقاط الدرجة الثانية (Second Order Network) وتكون دقتها عادة عالية ولكنها أقل من الدقة للتحقق لنقاط الشبكة الرئيسة (شبكة الدرجة الأولى) والتي لا تتجاوز في الغالب السنتيمتر الواحد ، شكل (6 - 3) .



شكل 6 - 3 شبكة نقاط ضبط رأسي من مختلف الدرجات

ملاحظات :

- 1 - هناك بعض الدول لا تقع على البحر (زامبيا على سبيل المثال) ومع ذلك يكون لها مرجع عام وثابت للمناسيب . هذا للرجع عبارة عن نقطة يجري انشاؤها على أحد حدود البلد (Country Border) الأقرب للبحر ثم يصار إلى تعيين فرق الارتفاع بينها وبين للنسوب الوسطي لسطح هذا البحر الأقرب .
- 2 - من الطبيعي أن يكون لكل بلد نقطة منسوب مرجعية (Bench Mark or Height Datum) خاصة به وهي بالضرورة تختلف عن غيرها لباقي الدول . كذلك فإن المنسوب الوسطي للبحر للعين كأساس لتحديد فرق الارتفاع بينه وبين نقطة المنسوب للرجعية يختلف أيضاً من بلد لآخر . بسبب ذلك نجد تفاوتاً في مناسيب نفس النقاط الواقعة على الحدود (Border Lines) عند شق أنفاق (Tunnels) أو إنشاء مشاريع تقع على جانبي الحدود بين دولتين متجاورتين فلا بد عندها من معرفة الفروق بين مناسيب النقاط المرجعية والمنسوب الوسطي للمتمد لسطح البحر .
- 3 - تعتبر شبكات المناسيب المرجعية على غاية كبيرة من الأهمية للكثير من الأعمال الساحية وخصوصاً مشاريع للسح الطبوغرافي حيث الحاجة إلى رسم خطوط الكنتور وإبراز مناسيب للعالم الرئيسية .

3-6 المضلعات Traverses

1-3-6 مقدمة

يصعب الاعتماد فقط على نقاط شبكة للثلاثيات (أو للمسح للثلاثي Triangulation) لانجاز الأعمال للمساحية الخاصة بعمل المخططات الطبوغرافية والعقارية والمساحية الأخرى لمختلف أجزاء البلد الواحد . يعود السبب الرئيسي في ذلك إلى المسافات البعيدة التي تفصل بين نقاط للثلاثيات مما يصعب من حيث الوقت والتكلفة ربط أعمال المساحة هذه (والتي تجري على أجزاء ومساحات صغيرة) بشبكة للثلاثيات ، أي بمرجعية الإحداثيات العامة للمرحلة الثابتة للبلد . من أجل ذلك كان لابد من تكثيف نقاط شبكة للثلاثيات أو للمسح للثلاثي . ولعل في إنشاء المضلعات ما يفي بهذا الغرض .

للمضلع بعد ذاته عبارة عن مجموعة خطوط متصلة ببعضها وتشكل مجموعها خطأ منكسراً يأخذ أشكالاً مختلفة وسميات متعددة كالمغلق (Closed) والمفتوح (Open) والرابط (Connecting) والحلقي (Loop) وغير ذلك . تنفرع هذه الخطوط من نقاط شبكة للثلاثيات العامة وتمتد باتجاهات مختلفة للإحاطة بالمباني والطرق والساحات والحدائق ومختلف المعالم المراد عمل مخططات طبوغرافية أو عقارية (أو غير ذلك) لها .

2-3-6 الهدف المحدد من إنشاء المضلعات

كما ذكرنا أعلاه ، يتلخص الهدف من أعمال التضليع (أو للمسالك أو للمضلعات) في تعيين إحداثيات (وبالتالي مواقع) نقاط جديدة انطلاقاً من واستناداً إلى شبكة نقاط قديمة معلومة الإحداثيات بدقة كشبكة للثلاثيات أو للمسح للثلاثي من مختلف الدرجات (Triangulation Network) . بهذا تساهم أعمال المضلعات في تكثيف شبكات النقاط للمعلومة وللوسيلة سابقاً (بطرق مختلفة) ومن ثم يسهل ربط أعمال للمساحة الأخرى (التي تنحصر في أجزاء صغيرة نسبياً وتكثر فيها المعالم والتفاصيل) بشبكة الإحداثيات العامة للدولة .

3-3-4 أنواع المضلعات (Types of Traverses) ، [33م] [46م]

هناك الكثير من التسميات المختلفة للمضلعات ، سنذكر أبرزها :-

1 - المضلع المفتوح (Open Traverse) :

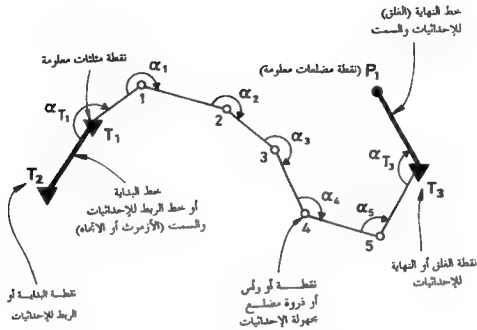
يطلق هذا الاسم على كل مضلع غير مغلق الشكل (أو الأضلاع) يبدأ بنقطة—ين
معلوماتي الأحداثيات (نقاط) مثلثات أو مضلعات متعددة ومعلومة سابقاً) وينتهي بالغلاق أو
القفل على نقطتين أخريين معلوماتي الأحداثيات أيضاً ، شكل (4-6) . تكون عادة للمسافة
بين الزوج الأول من النقاط للمعلومة (نقطتا الربط) وبين الزوج الثاني من النقاط للمعلومة
(نقطتا القفل أو الإغلاق) محدود (2km) إلى (3km) .

ملاحظات :

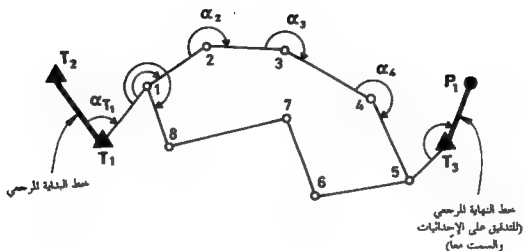
- البعض يطلق على المضلعات " المسالك " والبعض الآخر "التضليع" (إشارة إلى تأسيس وحساب نقاط للمضلعات) .
- البعض يطلق على هذا النوع من المضلعات المذكور أعلاه في البند (1) اسم " المضلع الرابط" (Connecting Traverse) .
- يكثر استخدام المضلعات الرابطة أو للفتوحة في مشاريع الطرق والمسارات المختلفة حيث تمتد لمسافات طويلة .

2 - المضلع المغلق (Closed Traverse) :

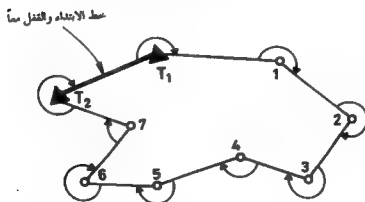
في هذا النوع من المضلعات ، يكون للمضلع مغلقاً من حيث الأضلاع أو الشكل الخارجي
ويتبدء بالربط على نقطتي مضلعات أو مثلثات (أو نقطة مثلثات وأخرى مضلعات) معلوماتي
الأحداثيات ثم ينتهي بالغلاق على نقطتي مضلعات أو مثلثات أخريين معلوماتي الأحداثيات أيضاً،
شكل (5-6) . كذلك تنطبق هذه التسمية على كل مضلع يتبدء بالربط على نقطتين
معلوماتين وينتهي بالغلاق على ذات النقطتين ، شكل (6-6) . من الواضح أن النوع الأول
(شكل 5-6) أكثر دقة من النوع الثاني الذي يغلط على نفس نقطتي الربط . السبب في ذلك
يعود إلى نقص الأدلة على عدم وجود خطأ مجهول المصدر في الأحداثيات المعطاة لنقطتي
الربط، أو عدم حدوث إزاحة في أي منهما ، أو عدم حصول خطأ في التعرف عليهما



شكل 6 - 4 مضلع مفتوح أو رابط (غير مغلق من حيث الأضلاع أو الشكل الخارجي)
 يتدء بربطه بنقطتين معلومتين (أو نقطة معلومة وسمت معلوم) وينتهي
 بالفلق أو القفل على نقطتين معلومتين أخريين (أو نقطة معلومة وسمت معلوم)



شكل 6-5 مضلع مغلق (من حيث الشكل) يتدء بالربط على نقطتين معلومتين وينتهي بالفلق على نقطتين أخريين معلومتين



شكل 6-6 مضلع مغلق (من حيث الشكل) يتدء بالربط على نقطتين معلومتين وينتهي بالفلق على ذات النقطتين

(Misidentification) . وهنا نلاحظ أن وجود زوج آخر من النقاط للمعلومة يتيح فرصة الكشف أو/و التدقيق والتحقق من عدم وجود مثل هذا النوع من الاحتمالات. لاحظ أنه يمكن حدوث خطأ في قياس الزوايا على الرغم من أن المجموع للقياس للزوايا الداخلية (أو الخارجية) يتوافق مع المجموع النظري إذ قد تحصل إزاحة أو إغراق لكل من المضلع دون أن يتأثر مجموع الزوايا. بعبارة أخرى ، أن الإغراق الظاهري لزوايا المضلع لا يعني تحقيق الدقة أو صحة العمل بالضرورة .

6-3-4 برنامج القياسات للمضلعات:

يمكن توضيح تسلسل إجراء القياسات الميدانية للمضلعات على الشكل التالي (حالة مضلع يتدعى بالربط على زوج من النقاط للمعلومة وينتهي بالإغلاق على زوج آخر من النقاط القديمة للمعلومة وبشكل مشابه تقريباً للحالات الأخرى من المضلعات المفتوحة والمغلقة):

1 - استطلاع الموقع المراد عمل المسح الطبوغرافي أو العقاري له .. إلخ . واختيار مواقع رؤوس المضلع أو للمضلعات (حسب مدى اتساع منطقة المسح) بحيث تغطي تماماً بالمعالم والتفاصيل المختلفة .

2 - غرس علامات مناسبة وثابتة في الموقع للمختارة لرؤوس المضلعات ثم ترقيمها وعمل كروكي لكل منها لغايات التعرف عليها مستقبلاً وإعادتها إلى مواقعها الدقيقة في حالة حدوث إزاحة أو اقتلاع ، انظر الأشكال (3-13)، (3-15)، (3-16)، (3-17).

3 - البحث عن أقرب نقطتين معلومتين الاحتماليتين لموقع بداية المسح [سواء كانت نقاط مثلثات (Triangulation Point) أم نقاط مضلعات قديمة (Traverse Points)] وكذلك عن أقرب نقطتين معلومتين أسيدين لموقع نهاية المشروع . وفي حالات المناطق الواسعة التي تستلزمها أعمال المسح الطبوغرافي فإنه يجري البحث عن نقاط للثلاثيات والمضلعات للمعلومة ضمن (في وسط وأطراف هذه المناطق) هذه المناطق . يجدر بالذكر أنه يتوجب مراجعة دوائر للمساحة الرسمية ذات العلاقة للحصول على المعلومات

الكافية والدقيقة من حيث الأحداثيات والكروكيات لغايات التعرف على وتحديد مواقع نقاط اللثلاث وللضلعات القائمة بالقرب من مناطق للمسح الطبوغرافي المطلوب.

- 4 - يجري الآن قياس جميع الزوايا الأفقية بين جميع أزواج الأضلاع للتتالية بدءاً من الضلع الذي يصل بين نقطتي الربط (الزاوية α_{T1} ، شكل 4-6) وانتهاءً بالضلع الذي يصل بين نقطتي الإغلاق (الزاوية α_{T3} ، شكل 4-6) مع ملاحظة ما يلي :-
- * أن تقرأ الزاوية α_{T1} وكذلك الزاوية α_{T3} مرتين على الأقل وبشكل دقيق قبل نقل الجهاز منها إلى المحطة التالية أو الانتهاء من العمل .

* تقاس الزاوية الأفقية بالتسديد على النقطة أو المحطة السابقة مثلاً T_2 في الشكل 4-6 باعتبار أن T_1 هي محطة الرصد أو المحطة التي يحتلها الجهاز) ولف للنظار باتجاه دوران عقرب الساعة نحو النقطة التالية (النقطة I في الشكل 4-6) وهكذا بالنسبة لجميع الزوايا الأفقية الأخرى . وعليه تكون آخر محطة رصد هي (T_3) حيث يجري منسها التسديد على النقطة (5) والفتق على النقطة الأخيرة (P_1) .

- 5 - تقاس جميع للمسافات الأفقية بين جميع النقاط بدقة (باستثناء للمسافات بين النقاط للمعلومة ، أي T_2 و T_1 و P_1 نظراً لأنها تحسب من خلال الأحداثيات للمعلومة). يجري القياس عادة باستخدام المستومات (Electronic Distance Metre, EDM) كما يمكن أيضاً استخدام الشريط القولاذي علماً بأن مثل هذا الأمر محدود وشبه نادر مع توفر أجهزة قياس للمسافات الالكترونية باستثناء حالات معينة كوجود عوائق رؤية كثيرة وازدحام التفاصيل .

5-3-6 برنامج الحسابات للمضلعات c[11م][24م][33م][52م]

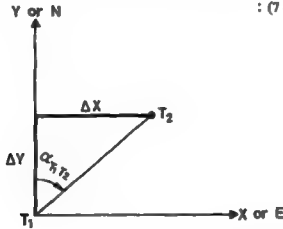
نوضح فيما يلي تسلسل خطوات الحساب لإحداثيات نقاط للضلعات للخلقة والفتوحة .

- 1 - تصحيح الزوايا أو اتجاهات الأضلاع :

يتم تصحيح الزوايا أو اتجاهات الأضلاع من خطأ القفل (أو الغلق أو الإغلاق أو التكميم) الزاوي الذي سنرمز له بـ " ϵ_a " (Azimuth Closure) من خلال الخطوات التالية :

أ - افترض أو حساب السميت أو الأزموث أو الاتجاه الدائري الكلي (Azimuth or Whole Circle Bearing) لضلع البداية (Beginning Azimuth) .

هذا الضلع إما أن يكون افتراضياً أو معلوماً سلفاً ومحدداً في الطبيعة أو أنه يصل بين نقطتين معلومتين الاحداثيات . في الحالة الثانية ، عندما يكون خط البداية ذلك الذي يصل بين نقطتين معلومتين (مثل A و B) ، بحسب الأزموث أو السميت على الشكل التالي ، شكل (7-6) :



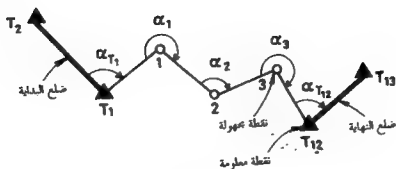
شكل (7-6) - السميت أو الأزموث لضلع ما

$$\alpha_{ij} = \tan^{-1} [(x_j - x_i) / (Y_j - Y_i)] \dots \dots \dots (1-6)$$

مع ضرورة ملاحظة الإشارة الجبرية لكل من المركبتين السينية والصادية إذ قد يلزم إضافة أو طرح للقياس (180°) أو (360°) لاستنتاج السميت أو الاتجاه النهائي الصحيح.

ب - حساب السميت لكل ضلع من أضلاع المضلع :

استناداً إلى سميت ضلع البداية وإلى الزوايا الأفقية للمقسمة بين أزواج أضلاع المضلع للتتالية (مقسمة من الضلع السابق إلى الضلع اللاحق باتجاه دوران عقرب الساعة) يتم حساب سميت كل ضلع من أضلاع المضلع على الشكل التالي ، شكل (8-6) :



شكل 6-8

$$\alpha_{T_{i-1}} = \alpha_{T_i - T_{i-1}} + \alpha_{T_i} \dots \dots \dots (2-6)$$

$$\alpha_{1-2} = \alpha_{1-T_1} + \alpha_1$$

وإذا زادت القيمة الناتجة عن (360°) أو (400°) نطرح (360°) أو (400°) ويكون ناتج الطرح هو السميت المطلوب ، علماً بأن :

$$\alpha_{1-T_1} = \alpha_{T_1-1} \pm 180^\circ$$

وهكذا تحسب السموت لكافة أضلاع المضلع بما في ذلك سميت ضلع القفل الأخير (أو ضلع البداية إذا عدنا إليه ثانية بسبب عدم توفر خط قفل عند نهاية للمضلع).

جـ - حساب مقدار خطأ الإغلاق أو القفل (ϵ_a , Azimuth Closure) :

بحسابنا لسميت ضلع القفل وبمعرفتنا لسميته أيضاً يكون خطأ القفل هو مقدار

الفرق بينهما ، فإذا رمزنا للسميت المحسوب لضلع القفل بـ (α') وللسميت للمعلوم

لنفس الضلع بـ (α) ، عندها يكون لدينا :

$$\epsilon_a = \alpha' - \alpha \dots \dots \dots (3-6)$$

الآن يجري توزيع خطأ الإغلاق بالتساوي على الزوايا وذلك على الشكل التالي :

$$C_a = -\epsilon_a / n \dots \dots \dots (4-6)$$

حيث ترمز (C_a) إلى مقدار التصحيح على كل زاوية مقاسة بمشاركة، كما ترمز (n) إلى عدد الزوايا للقيسة الداخلة في حساب السميت (الازموت) المرجعي (أي سميت أو أزموت)

خط القفل أو الإغلاق)، أما الإشارة السالبة فهي بسبب أن إشارة التصحيح عكس إشارة الخطأ .

كطريقة ثانية (وهي الأنسب) يمكن توزيع الخطأ بشكل مباشر على الاتجاهات الأضلاع وذلك على الشكل التالي :

$$C_{\alpha_i} = -i (\varepsilon_a / n) \dots \dots \dots (5-6)$$

حيث ترمز (C_{α_i}) إلى مقدار التصحيح على اتجاه الضلع ذي الرقم (i) . وعليه إذا رمزنا بـ (α'_i) للاتجاه المحسوب لضلع ما (i) ورمزنا بـ (α''_i) للاتجاه للمصحح لنفس الضلع، عندها يكون لدينا :

$$\alpha''_i = \alpha'_i + C_{\alpha_i}$$

$$\alpha''_i = \alpha'_i - i (\varepsilon_a / n) \dots \dots \dots (6-6)$$

ملحوظة :

إذا كان الضلع مغلقاً شكلاً (Polygon) كما هو الحال في الشكل (5-6) فإنه يمكن التدقيق على الزوايا للقيسة أيضاً (أي بالإضافة إلى المقارنة بين الاتجاه للعلوم والاتجاه المحسوب لحظ القفل، أي الضلع $P_1 - T_2$ في الشكل (5-6) والضلع $T_1 - T_2$ في الشكل (6-6) وذلك بمقارنة المجموع النظري للزوايا الداخلية (أو الخارجية)) بالمجموع للقيس لهذه الزوايا حيث :

بمجموع الزوايا الداخلية للمضلع المغلق شكلاً (Polygon) يساوي : $90^\circ (2N - 4)$ أو :

$$\sum_{i=1}^{i=N} \alpha_i = (2N - 4) 90^\circ \dots \dots \dots (7-6)$$

حيث تشير (N) إلى عدد أضلاع أو رؤوس أو زوايا للمضلع .

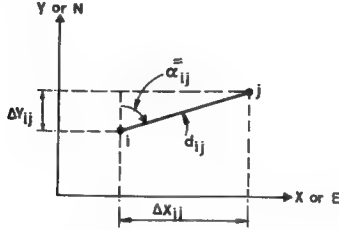
كذلك فإن مجموع الزوايا الخارجية للمضلع المغلق يساوي : $90^\circ (2N + 4)$

أو

$$\sum_{i=1}^{i=N} \alpha_i = (2N + 4) 90^\circ \dots \dots \dots (8-6)$$

2 - حساب الإحداثيات الأولية (Preliminary Coordinates) :

بعد الانتهاء من حساب الانحرافات للمصححة لكافة أضلاع المثلث يجري حساب الإحداثيات الأولية (X, Y) لكل ركن من أركان المثلث استناداً إلى هذه الانحرافات المصححة وإلى للمسافات الأفقية للقيسة ميدانياً وذلك على الشكل التالي، شكل (6-9) :



شكل 6-9 حساب الإحداثيات الأولية

$$\Delta X_{ij} = d_{ij} \sin \alpha_{ij}'' \dots\dots\dots(9-6)$$

$$\Delta Y_{ij} = d_{ij} \cos \alpha_{ij}'' \dots\dots\dots(10-6)$$

حيث تشير إلى المركبة السينية للمثلث (ij) وتشير (ΔY_{ij}) إلى المركبة الصادية، أما (α_{ij}'') فتشير إلى الانحراف (السمت) للمصحح للمثلث الذي يصل بين النقطتين (i) و (j) كما تشير (d_{ij}) إلى للمسافة الأفقية للقيسة ميدانياً بين نفس النقطتين. وعليه يمكن كتابة للمعادلات التالية :

$$X'_j = X'_i + \Delta X_{ij} \dots\dots\dots(11-6)$$

$$Y'_j = Y'_i + \Delta Y_{ij} \dots\dots\dots(12-6)$$

حيث تشير (X'_i) و (Y'_i) إلى الإحداثيات الأولية للنقطة (i) التي تشتق بدلالة الإحداثيات الأولية للنقطة السابقة لها مباشرة (i) والمركبتين السينية والصادية للضلع (i, j) .
ملاحظات :

- * يجب أخذ الإشارة الجبرية بعين الاعتبار في جميع للمعادلات السابقة .
- * هذه الإحداثيات غير نهائية على الرغم من تصحيح الانحرافات (الانجذاعات أو الزوايا) لأنها لا تزال تحمل أخطاء قياس للمسافات التراكمية.

3 - حساب خطأ القفل في الموقع (Position Closure Error) :

معرفة الإحداثيين السيني والصادي للنقطة الأخيرة من الضلع (نقطة القفل أو الإغلاق) ومقارنتهما مع القيمتين المحسوبتين للمقابلتين لهما ، يمكن حساب خطأ القفل السيني (ϵ_x) وخطأ القفل الصادي (ϵ_y) Closure Error in X-Coordinate على الشكل التالي :

$$\epsilon_x = X' - X \dots\dots\dots(13-6)$$

$$\epsilon_y = Y' - Y \dots\dots\dots(14-6)$$

حيث ترمز (X') و (Y') إلى الإحداثيين السيني والصادي المحسوبين لنقطة القفل وأما (X) و (Y) فترمز إلى الإحداثيين السيني والصادي للمعلمين لنفس نقطة القفل.

الآن يمكن حساب خطأ القفل للموقعي أو للكان أو الخطي (Position or Linear Error of Closure, ϵ_h) على الشكل التالي :

$$\epsilon_h = [(\epsilon_x)^2 + (\epsilon_y)^2]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(15-6)$$

ملاحظات:

- أ - الخطأ الخطي عبارة عن الخط المستقيم أو المسافة الفاصلة بين للوقع الصحيح والوقع المحسوب لنقطة القفل، شكل (10-6) وشكل (11-6) .
- ب - يعبر الخطأ الخطي مقياساً لدقة وتنوعية قياسات زوايا وأضلاع للضلع.

ج - يجري عادة التعبير عن الخطأ الخطي (خطأ للموقع) بشكل نمبي على الشكل التالي:

$$\text{Relative Error of Closure} = 1 / (L / \epsilon_d) \dots \dots \dots (16 - 6)$$

حيث ترمز (L) إلى مجموع أطوال أضلاع للضلع .

د - يرتبط الخطأ الخطي بالطول الإجمالي لأضلاع للضلع وبالتالي كلما كان مجموع أطوال أضلاع للضلع أكبر كلما كان الخطأ الناتج أكبر والعكس صحيح .

4 - تصحيح الإحداثيات الأولية من خطأ القفل في الموقع :

يجري الآن حساب مقدار التصحيح لكل من الإحداثيين السيني والصادي لكافة أركان للضلع ومن ثم تطبيق هذه التصحيحات لاستنتاج الإحداثيات النهائية . من أجل ذلك سنقوم باستخدام معادلات التصحيح التالية :

$$CX'_i = (-I_i / L)(\epsilon_x) \dots \dots \dots (16 - 6)$$

$$CY'_i = (-I_i / L)(\epsilon_y) \dots \dots \dots (17 - 6)$$

حيث ترمز (CX'_i) و (CY'_i) إلى مقدار التصحيحين السيني والصادي على الترتيب اللازم تطبيقهما على الإحداثيين الأوليين السيني والصادي للركن (i) من الضلع . كما ترمز (L) إلى مجموع أطوال أضلاع للضلع بين نقطة البداية ونقطة النهاية كما ذكرنا سابقاً . وأخيراً فإن (ϵ_x) و (ϵ_y) ترمزان كما هو معلوم إلى خطأ الإغلاق السيني والصادي على التوالي . وعليه فإن للمعادلات التي تعطي قيم الإحداثيات للصححة (X_i, Y_i) للركن (i) من الضلع تكون على الشكل التالي :

$$X_i = X'_i + CX'_i \dots \dots \dots (18 - 6)$$

$$Y_i = Y'_i + CY'_i \dots \dots \dots (19 - 6)$$

حيث ترمز (X'_i) و (Y'_i) إلى الإحداثيين الأوليين السيني والصادي للنقطة (i) من

للضلع على التوالي .

ملاحظات :

أ - تدعى طريقة تصحيح الإحداثيات الأولية السابقة (للمذكورة أعلاه) بطريقة قانون البوصلة (Compass Rule) ويجري استخدامها عندما تكون الدقة للممكنة في قبلى

للمسافات متعادلة تقريباً مع دقة قياس الزوايا وهنا هو واقع الحال في أيامنا الحاضرة حيث تقاس الزوايا في الغالب لأقرب ثانية ستينية كما تقاس للمسافات باستخدام المستومات (EDM) لأقرب (1mm) . كذلك يطلق على هذه الطريقة أحياناً بطريقة قاعدة بوديج (Bowditch Rule) نسبة إلى البحار الأمريكي Nathaniel Bowditch الذي عاش في الفترة ما بين عام 1773 وعام 1838 ميلادية ويعود الفضل إليه في صياغتها.

ب - هناك طريقة أخرى تدعى طريقة قانون الترانزيت (Transit Rule) تستخدم بشكل نادر في حسابات تصحيح الإحداثيات وتستند هذه الطريقة على افتراض أن دقة قياس الزوايا أعلى من دقة قياس للمسافات. أمّا معادلات التصحيح في هذه الطريقة فتأخذ بعين الاعتبار أطوال للمساقط السينية (Departures) وأطوال للمساقط العاصدية (Latitudes) للأضلاع بدلاً من أطوال الأضلاع ذاتها ، أي :

$$\begin{aligned} & \text{التصحيح السيني على النقطة (1) يساوي :} \\ & 1) \text{ (مجموع أطوال للمساقط السينية للأضلاع لغاية النقطة (1))} \\ & \div \text{ (مجموع أطوال للمساقط السينية لكافة أضلاع للمضلع)} \\ & \times \text{ (خطأ الإغلاق السيني (e_x))} \\ & \dots\dots\dots (20 - 6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{التصحيح العاصدي على النقطة (1) يساوي :} \\ & 1) \text{ (مجموع أطوال للمساقط العاصدية للأضلاع لغاية النقطة (1))} \\ & \div \text{ (مجموع أطوال للمساقط العاصدية لكافة أضلاع للمضلع)} \\ & \times \text{ (خطأ الإغلاق العاصدي (e_y))} \\ & \dots\dots\dots (21 - 6) \end{aligned}$$

مع ملاحظة أن إشارة للمساقط الجبرية لا تؤخذ بعين الاعتبار، أي المجموع الحسابي التراكمي للمساقط (Cumulative Arithmetic Sum) .

ج - حيثما تكون أضلاع للمضلع متساوية تقريباً فيمكن توزيع خطأ الإغلاق السيني والعاصدي (e_x) والعاصدي (e_y) على الشكل التالي :

$$CX'_i = -i (\epsilon_x / n) \dots\dots\dots(22 - 6)$$

$$CY'_i = -i (\epsilon_y / n) \dots\dots\dots(23 - 6)$$

حيث ترمز (CX'_i) و (CY'_i) إلى مقدار التصحيح السيني والتصحيح الصادي للنقطة (i) على التوالي . كما ترمز (i) إلى رقم الضلع وأما (n) فترمز إلى عدد أضلاع للمضلع (عدد المسافات للقيسة).

د - البعض يعتقد أن طريقة قانون التوازن أدق من كافة الطرق الأخرى بحجة أن الخطأ وبالتالي التصحيح يكون متناسباً مع مسقط الضلع على كل من المحورين وليس متناسباً فقط مع المسافة نفسها (إذ قد يكون الضلع أقصر من ضلع آخر ولكن مسقطه على أحد المحورين أكبر وعليه يكون التصحيح متناسباً مع للمسقط وليس مع الضلع نفسه).

5 - حساب الأطوال والانحرافات النهائية :

بعد الحصول على الإحداثيات للصحة النهائية (Final Coordinates) يجري حساب انحرافات وأطوال (Final Azimuths and Lengths) أضلاع للمضلع باستعمال هذه الإحداثيات بالطرق للشروحة آنفاً كما سنوضح ذلك في الأمثلة اللاحقة.

ملحوظة :

يمكن حساب مقدار التصحيح على طول كل ضلع من أضلاع للمضلع على الشكل التالي :

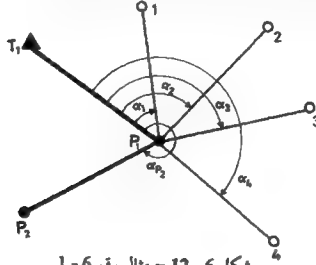
$$Cd_i = \left(\frac{l}{L}\right) \epsilon_d$$

حيث ترمز (Cd_i) إلى مقدار التصحيح المطلوب تطبيقه (إضافته أو طرحه) على الضلع رقم (i) ، أما (l) فتشير إلى مجموع أطوال أضلاع للمضلع حتى الركن (i) ، كما أن (L) تشير إلى مجموع أطوال أضلاع للمضلع، وأخيراً (ϵ_d) تشير إلى الخطأ للكانبي أو الموقعي. بعد تصحيح الأضلاع يجري الآن حساب فروق الإحداثيات الصحيحة وبالتالي الإحداثيات الصحيحة.

أمثلة متنوعة : [7م] [11م] [13م] [15م] [27م] [33م] [45م] [46م] [52م]

مثال 6-1 :

في الشكل (6-12) ، النقطتان (P₁) و (T₁) معلومتا الإحداثيات والنقاط
(1,2,3,4) مجهولة الإحداثيات ولتطلب وصف الخطوات اللازمة لتحديد إحداثيات
النقاط المجهولة.



شكل 6-12 - مثال رقم 6-1

الحل:

ملاحظة الشكل (6-12) تكون خطوات الحل كما يلي :

* يجب الاتجاه الدائري (السمت أو الأزموت) للضلع (P₁ T₁) من خلال الإحداثيات
للمعلومة لها ، أي :

$$\alpha_{P_1-T_1} = \tan^{-1} [(X_{T_1} - X_{P_1}) / (Y_{T_1} - Y_{P_1})]$$

مع ملاحظة الربع الذي يقع فيه الضلع من خلال إشارة كل من للركبتين المصنفة
والصادبة لهذا الضلع .

* تقاس الزوايا الأفقية (α₁ , α₂ , α₃ , α₄) وبالتالي يسهل حساب الاتجاه الدائري
للأضلاع (P₁4, P₁3, P₁2, P₁1) على سبيل المثال :

$$\alpha_{P_1} = \alpha_{P_1 T_1} + \alpha_1, \quad \alpha_{P_2} = \alpha_{P_2 T_1} + \alpha_2$$

حيث ترمز α_{P_1} إلى أزموت (سمت أو اتجاه) P_1 كما ترمز α_{P_2} إلى أزموت الضلع P_2 وهكذا.

• نقيس للمسافات الأفقية : $(P_1, P_2, P_3, P_4, P_1)$.

• بمعرفة إحداثيات (P_1) والمسافات الأفقية والسموت للأضلاع التي تصل بين P_1 وكل من النقاط المجهولة $(1, 2, 3, 4)$ يتم تعيين إحداثيات هذه النقاط . على سبيل المثال :

$$X_1 = X_{P_1} + d_{P_1 1} \sin \alpha_{P_1}$$

$$Y_1 = Y_{P_1} + d_{P_1 1} \cos \alpha_{P_1}$$

حيث ترمز $(d_{P_1 1})$ إلى المسافة الأفقية للضلع $(P_1 1)$ كما ترمز $(d_{P_1 2})$ إلى المسافة الأفقية للضلع $(P_1 2)$ وهكذا .

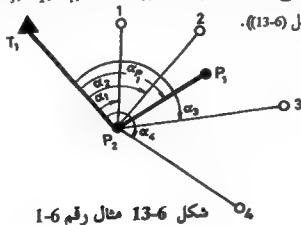
• نختار نقطة (P_2) بجوار (P_1) ، على بعد حوالي 20m إلى 30m من بعضهما ونحسب إحداثياتها بطريقة مشابهة ، أي قياس الزاوية الأفقية (α_{P_1}) والمسافة الأفقية $(P_1 P_2)$

$$X_{P_2} = X_{P_1} + d_{P_1 P_2} \sin \alpha_{P_1 P_2}$$

$$Y_{P_2} = Y_{P_1} + d_{P_1 P_2} \cos \alpha_{P_1 P_2}$$

• نقل جهاز قياس الزوايا (التيودوليت) إلى النقطة (P_2) .

• من (P_2) نوجه للنظار (التيودوليت إلى النقطة (T_1) للعلومة الإحداثيات ونصفر الزوايا ثم نقوم برصد كل من النقاط 1, 2, 3, 4 , P_1 (يلف للنظار باتجاه دوران عقرب الساعة بدءا من الضلع $(P_2 T_1)$) ويجري قراءة الزوايا الأفقية $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4)$ كما هو موضح في الشكل (13-6) .



منذا يمكن حساب التجهيزات الاضلاع $(P_2P_1), (P_2P_1), (P_2P_1), (P_2P_1), (P_2P_1)$ ، حيث :

$$\alpha_{P_2P_1} = \alpha_{P_2P_1} + \alpha_1$$

$$\alpha_{P_2P_2} = \alpha_{P_2P_2} + \alpha_2$$

وهكذا مع ملاحظة أن :

$$\alpha_{P_2P_1} = \tan^{-1}[(X_{P_2} - X_{P_1}) / (Y_{P_2} - Y_{P_1})]$$

ودون إغفال للإشارة الجوية لكل من المركبتين السببية والصادية للملاحظة الربع الذي

يقع فيه الضلع للعتبر ثم إضافة أو طرح (180°) أو (360°) حيثما يلزم .

* نقيس للمسافات الأفقية للأضلاع التي تصل بين (P_2) وكل من : $P_1.4.3.2.1$.

* نحسب إحداثيات النقاط : $P_1.4.3.2.1$ بدلالة إحداثيات P_2 للمعلومة والمسافات

والاتجهيزات للأضلاع ذات العلاقة باتباع نفس الأسلوب المذكور آنفا .

* نقوم بمقارنة الإحداثيات المحسوبة من خلال كل من (P_1) و (P_2) للتحقق من القياسات

والحسابات وفي حالة التطابق (باختلاف مقبول) يتم أخذ القيم للتوسطة مع

ملاحظة ضرورة أن تكون إحداثيات النقطة P_2 قد فيست وحسب بدقة كبيرة

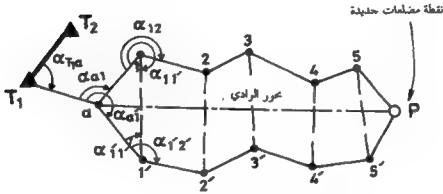
متميزة عن باقي النقاط (4.3.2.1) .

مثال رقم 6- 2 :

نقطتان معلومتا الإحداثيات (T_1 , T_2) تتعان قرب بداية (أو نهاية) واد ضيق، يراد إنشاء نقطة أخرى وتعيين إحداثياتها بشكل دقيق. للطلب وصف الخطوات اللازم إتباعها لإنجاز ذلك .

الحل ، شكل 6- 14 :

أ - نختار نقاطاً قرب بداية الوادي (a) وعلى طرقي الوادي (1, 2, 1', 2', 3, 3', 4, 4', 5, 5').



شكل 6- 14 تأسيس نقاط مضلعات جديدة قرب
بداية أو نهاية وادي أو طريق منخفض

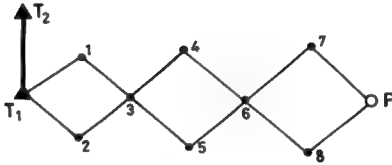
- ب - نضع جهاز التيودوليت في (T_1) ونقيس الزاوية (α_{T_1a}).
- جـ - ننقل الجهاز إلى (a) ونقيس الزاوية (α_{a1}) والزاوية (α_{aT_2}).
- د - نثبت جهاز تيودوليت في النقطة (1) وجهاز تيودوليت آخر في النقطة (1') ثم مسن
الحطة (1) نسلد على (a) ونقيس الزاوية (α_{12}) والزاوية ($\alpha_{1'2'}$) ، كذلك مسن
الجهاز للثبت في الحطة (1') نقرأ الزاوية ($\alpha_{1'2'}$) و ($\alpha_{1'2}$) .
- هـ - نتابع العمل حتى النقطة (P) وذلك برصد كل نقطة من جهتين .
- و - نقيس للمسافات الأفقية (T_1a) و (a 1) و (a 1') و (1 1') و (1 2) و (1' 2') و (2 2') و (2 3) و (2' 3') و (2' 3') إلخ (أي نقيس مسافتين لكل نقطة) .

ز - من السهولة الآن حساب إحداثيات النقطة (P) مع ملاحظة أن كل نقطة ميمكن حساب إحداثياتها من خلال مسارين مما يوفر آلية للتحقق والتحقق مسن صحة القياسات والحسابات معاً .

مثال رقم - 6 - 3 :

صف خطوات تعيين نقاط مضلعات جديدة في الحالات التي تكون فيها الأرض وعرة جداً وتكثر فيها عوائق القياس والتوجيه.

الحل ، شكل - 6 - 15 :



شكل 6 - 15 تأسيس نقطة مضلعات جديدة
في المناطق الوعرة جداً

- أ - نبدأ بنقطتين معلومتين مثل (T_1) و (T_2) .
- ب- نقيس الزوايا والمسافات وفق مسارين متقاطعين بشكل متتابع (للسار : $T_1-2-3-4-6-8-P$ وللشار : $T_1-1-3-5-6-7-P$).
- ج- يمكن حساب إحداثيات نقاط التقاطع (3, 6) وفق مسارين مختلفين حين وصول النقطة (P) للراد تأسيسها وتعيين إحداثياتها كنقطة مضلعات جديدة .

ملحوظة :

لاحظ أن إحداثيات كل من النقطتين (1) و (2) تحسب من الإحداثيات المطلوبة للنقطة (T₁) (طبعاً بالإضافة إلى المسافات والاتجاهات الخاصة بهما) ثم يجري حساب إحداثيات نقطة التقاطع (3) وفق مسارين، إحداهما من خلال النقطة (1) والآخر من خلال النقطة (2) . كذلك يجري تعيين إحداثيات (4) و (5) من الإحداثيات المحسوبة للنقطة (3) والاتجاهات والمسافات الخاصة بهما. بعد ذلك يجري حساب إحداثيات النقطة (6) أيضاً من خلال مسارين إحداهما من خلال النقطة (4) والآخر من خلال النقطة (5) وأخيراً نحسب إحداثيات (7) و (8) من خلال (6) ومن ثم نحسب إحداثيات P من خلال (7) و (8).

6-3-6 تصحيح المسافات من الأخطاء النظامية :

قبل إدخال أطوال أضلاع للضلعات للقياس ميدانياً في حساب الاحداثيات، يتوجب تصحيحها من الأخطاء النظامية (Systematic Errors). وهنا نميز بين استخدام الشريط (By Taping) في قياس المسافات إذ يتوجب هنا تصحيح المسافات من تأثيرات الشد (Tension) والحرارة (Temperature) والترخيم (Sag) والميل (Slope)، وبين استخدام المستومات أو القياس الإلكتروني (EDM Equipment) حيث يلزم هنا تصحيح الأطوال للقياس من تأثيرات العوامل الجوية وخطأ للقياس والأخطاء الثابتة. نبين فيما يلي هذه التصحيحات وأمتدة عليها بافتراض أن المسافة للقياس هي (AB) إلى جانب الرموز التالية :

ترمز إلى المسافة الأفقية لضلع ما (AB) : D_{AB}

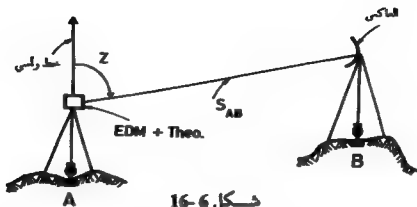
ترمز إلى المسافة للثقل للضلع (AB) : S_{AB}

الزاوية الرأسية السمتية (Zenith Angle) Z :

1 - تصحيح الميل (Slope Correction) :

بالرجوع إلى الشكل (16-6)، يمكن كتابة

$$D_{AB} = S_{AB} \cdot \sin Z \quad \dots\dots\dots (24-6)$$



شكل 16-6

مثال رقم 6-4 :

إذا كانت (S_{AB}) تساوي 311.625m والزווية الرأسية السمتية (Zenith Angle) تساوي ($110^\circ 10' 12''$) ولارتفاع الجهاز (مركز الرصد) يساوي لارتفاع مركز العاكس، فما هو مقدار المسافة الأفقية (D_{AB}) ؟

الحل :

$$D_{AB(1)} = 311.625 \sin(110^\circ 10' 12'') = 292.514m$$

2 - التصحيح الخاص بالشروط الجوية (Atmospheric Correction) :

بافتراض أن جهاز المستويات هو الذي استخدم في قياس المسافات، فيتوجب عندنا الرجوع إلى نوموغرام مرقق مع كاتالوج الجهاز لمعرفة قيمة التصحيح بدلالة درجة الحرارة أثناء القياس ومتوسط ارتفاع منطقة القياس فوق سطح البحر.

مثال رقم 6-5 :

ما هو مقدار التصحيح الواجب تطبيقه على المسافة الأفقية المحسوبة في المثال (6-4) لإلغاء تأثير الشروط الجوية بفترض أن درجة الحرارة أثناء القياس كانت : $t = 25^\circ$ ومتوسط ارتفاع منطقة القياس فوق المنسوب الوسطي لسطح الأرض : $H = 1250 m$.

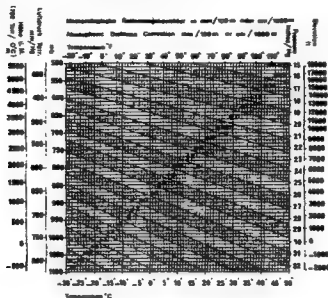
الحل :

من النوموغرام التالي (شكل 17-6) نجد أن قيمة التصحيح (Cm) اللازمة تطبيقها

تساوي (+ 5mm/100m) وعليه :

$$C_{20} = (292.514/100) (+5\text{mm}) = +14.6\text{ mm}$$

$$D_{AB(2)} = 292.514 + 0.0146 = 292.529\text{ m}$$



شكل 6-17 نموذج تصحيح تأثير العوامل الجوية، كمثال فقط [51م]

3 - التصحيح الخاص بانحناء الأرض (Chord to Arc Correction) :

لتصحيح للسافة للقيسة من تأثير انحناء الأرض (Earth Curvature) نطبق للمعادلة

التالية (انظر الملحق رقم -) :

$$C_E = D^3 / [24 (R + H)^2] \dots\dots\dots (25 - 6)$$

حيث ترمز :

CE : مقدار التصحيح لتأثير انحناء الأرض

R : نصف قطر الأرض

H : متوسط ارتفاع منطقة القياس فوق للمنسوب الوسطي لسطح البحر

مثال رقم 6-6 :

ما هو مقدار التصحيح الواجب تطبيقه على المسافة الأفقية المحسوبة في المثال رقم (5-6) لإلغاء تأثير انحناء الأرض علماً بأن ارتفاع منطقة القياس فوق سطح البحر وجد مساوياً : $H = 1500 \text{ m}$ ونصف قطر الأرض $R = 6370 \text{ km}$.
الحل :

$$C_E = (292.529)^3 / [24 (6370000 + 1500)^2]$$

وهذه القيمة مهمة عملياً وعليه تبقى المسافة كما هي ، أي : $D_{AB(3)} = 292.529 \text{ m}$

4 - التصحيح الخاص بالإسقاط على مستوى البحر :

لتوحيد مرجعية القياسات ، نقوم في مثل هذا النوع من التطبيقات بإسقاط للمسافات عند مستوى سطح البحر. لذلك نطبق المعادلة التالية (انظر للملحق رقم -) :

$$C_S = (-D \cdot H) / R \dots\dots\dots (26-6)$$

مثال رقم 6-7 :

ما هو مقدار التصحيح اللازم تطبيقه على المسافة الأفقية المحسوبة في المثال رقم (6-6) لإسقاطها عند مستوى سطح البحر علماً بأن القياس تم على ارتفاع (1200m) فوق سطح البحر وأن نصف قطر الأرض (6370 km).
الحل :

$$C_S = -(292.529) (1200) / 6370000$$

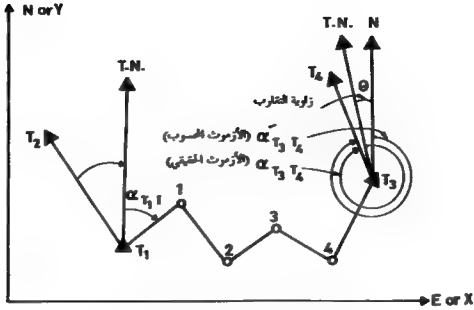
$$C_S = -0.055 \text{ m}$$

وعليه تكون للمسافة الأفقية عند سطح البحر مساوية :

$$D_{AB(4)} = 292.529 + (-0.055) = 292.584 \text{ m}$$

5 - تصحيح الاتجاه True Azimuth Correction :

في حالات للضلعات التي تمتد لمسافات طويلة (عدة كيلومترات) باتجاه أقرب إلى شرق - غرب ، فلا بد من أخذ زاوية التقارب (Convergence Angle) بين اتجاهي الشمال في كل من نقطة البداية للعلومة للضلع ونقطة النهاية للعلومة للضلع. فني الشكل (6-18) إذا كانت (T_1) هي نقطة بداية للضلع الرابط و (T_2) هي نقطة نهاية هذا للضلع وكان



شكل 6- 18 تصحيح الاتجاه (الفرق بين الأزموت أو السمـت المحسوب والسمت الحقيقي (المعلوم)

بمجموع المسافات السببية للأضلاع (Departures) بين هاتين النقطتين يبلغ عدة كيلومترات فيؤدي ذلك إلى اختلاف بين الأزموت المحسوب للضلع الأخير $(\alpha_T - \alpha'_T)$ والأزموت الحقيقي للمعلوم (أي : $\alpha_T - \alpha'_T$).

إن الفرق بين القيمتين ولترمز له بـ (θ) هو الذي يجب إدخاله كصحيح على الأزموت أو السمـت المحسوب قبل أن نتمد خطأ الإغلاق السمي Azimuth Closure Error وتصحيحه ، حيث :

$$\theta = \alpha_T - \alpha'_T - \alpha'_T - \alpha_T$$

بعبارة أخرى ، أن خطأ الإغلاق السمي الواجب إدخاله في التصحيح ليس

$$\text{Azimuth Closure Error} = (\alpha'_T - \alpha_T) - (\alpha_T - \alpha'_T) \text{ وإنما : } \alpha'_T - \alpha_T - \alpha_T - \alpha'_T$$

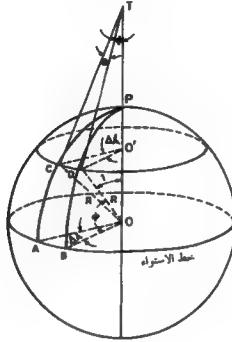
كما منوضح ذلك في مثال لاحق .

اشتقاق قيمة زاوية التقارب :

لاشتقاق قيمة زاوية التقارب ، لدينا في الشكل (6-19) :

* نقطتا بداية ونهاية للضلع على التوالي : C, D

- * متوسط زاويتي العرض (Latitude) للنقطتين (C) ، (D) ، أي : $\phi = (\phi_C + \phi_D) / 2$
 (إذا لم يقعا على خط عرض واحد وهذا ما يصعب عملياً)
- * الفرق بين زاويتي الطول للنقطتين (C) و (D) : $\Delta\lambda$ ، أي $(\Delta\lambda = \lambda_D - \lambda_C)$



الشكل 6 - 19 اشتقاق قيمة زاوية التقارب [33م]

ومع ملاحظة ما يلي :

- الزاوية (DTO) تساوي الزاوية (DOB) لأن كلا منهما يساوي زاوية العرض ϕ (لاحظ أن زاوية (ODT) قائمة حيث (OD) نصف قطر و (DT) مماس وبالتالي الزاوية بينهما 90°).
- الزاوية (BOT) قائمة وعليه فإن :

$$\hat{I} + \phi = I + \hat{D}\hat{T}O$$

وبالتالي فإن الزاوية DTO تساوي ϕ

الآن لدينا: $\Delta\lambda = CD / DO' , CD = DO' . \Delta\lambda$

وكذلك :

$$\sin \phi = DO' / DT , DT = DO' / \sin \phi$$

ولدينا باعتبار الزاوية (θ) صغيرة :

$$\theta = CD / DT$$

وبالتالي فإنه بالتعويض عن قيم (CD) و (DT) في العلاقتين السابقتين ، ينتج :

$$\theta = (DO' . \Delta\lambda) / (DO' / \sin \phi)$$

$$\theta = \Delta\lambda . \sin \phi \dots\dots\dots(26-6)$$

حيث θ و $\Delta\lambda$ بالراديان وكذلك :

$$\phi = (\phi_c + \phi_p) / 2$$

(إذا لم تقعا (D, C) على نفس خط العرض) .

ملاحظات :

أ - تعتمد قيمة زاوية التقارب (θ) على :

1 - مقدار مجموع المساط السينية (Departures) لكامل أضلاع المثلث من نقطة بدايته ولتكن (C) إلى نقطة نهايته ولتكن (D) .

2 - موقع المثلث من حيث قيمة زاوية العرض لكل من نقطة بدايته ونهايته .

ب - من الشكل السابق (19-6) وبالرمز لـ (CD) بـ (L) ، لدينا :

$$\Delta\lambda = CD / DO' = L / (OD \sin \hat{I})$$

لاحظ أن الزاوية (OOD) تساوي (90°) وحيث أن (OD) يساوي نصف القطر

الوسطي للأرض (R) وكذلك الزاوية (\hat{I}) تتمم الزاوية ϕ وبالتالي :

$$\sin \hat{I} = \cos \phi \text{ ، لذلك :}$$

$$\Delta\lambda = L / (R \cos \phi) \dots\dots\dots(27-6)$$

ولكن ، كما وجدنا سابقاً :

$$\theta = \Delta\lambda . \sin \phi$$

وعليه فبالتعويض عن ($\Delta\lambda$) يصبح لدينا :

$$\theta = (L / R \cos \phi) \sin \phi$$

$$\theta = L \tan \phi / R \dots \dots \dots (28 - 6)$$

حيث θ بالراديان

مثال رقم 6 - 7 :

إذا كانت الإحداثيات الجغرافية لنقطة بداية للضلع (T_1) ونقطة نهاية للضلع (T_2)

كالتالي :

$$\phi_{T_1} = 36^\circ 20' 30'' \text{ N}, \lambda_{T_1} = 44^\circ 12' 32'' \text{ W}$$

$$\phi_{T_2} = 36^\circ 14' 20'' \text{ N}, \lambda_{T_2} = 44^\circ 07' 28'' \text{ W}$$

المطلوب حساب قيمة زاوية التقارب θ التي يجب إضافتها إلى السميت (Azimuth) المحسوب لضلع النهاية قبل توزيع الخطأ السمي (Azimuth Closure Error) .

الحل :

$$\theta = \Delta \lambda \sin \phi$$

$$\phi = [(36^\circ 20' 30'') + (36^\circ 14' 20'')] / 2 = 36^\circ 17' 25''$$

$$\Delta \lambda = 44^\circ 12' 32'' - 44^\circ 07' 28'' = 00^\circ 05' 04''$$

$$\theta = 03' \rightarrow (05' 04'' \times \sin 36^\circ 17' 25'' \approx 3')$$

مثال رقم 6 - 8 :

لذلك للمعطيات التالية :

* مجموع للساقط السينية بين بداية للضلع (T_1) ونهايته (T_2) يساوي : $L=15.364 \text{ km}$

* السميت المحسوب لضلع النهاية ($T_3 - T_4$) :

$$\alpha'_{T_3-T_4} = 35^\circ 10' 29''$$

* السميت للعلوم ، الصحيح (الحقيقي) لضلع النهاية :

$$\alpha_{T_3-T_4} = 35^\circ 15' 37''$$

* قيمة متوسط زاوية العرض للنقطتين (T_1) و (T_2) تساوي : $\phi_{T_1, T_2} = 41^\circ 25' 11''$

للمطلوب حساب مقدار خطأ القفل السمي الناتج عن الأخطاء في قياسات زوايا المضلع
 علماً بأن نصف القطر الوسطي للأرض : $R = 6370 \text{ km}$ (لاحظ أن النقطة T_3 تقع
 شرق النقطة T_1 ، انظر الشكل 18-6) .

الحل :

$$\theta = L \tan \phi / R$$

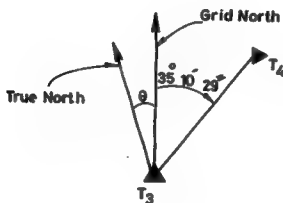
$$\theta = 15.364 \tan (41^\circ 25' 11'') / 6370$$

$$\theta = 7' 19''$$

وعليه :

$$\text{Azimuth Closure Error} = \alpha'_{T_3-T_4} + \theta - \alpha_{T_3-T_4}$$

$$\text{Azimuth Closure Error} = 35^\circ 10' 29'' + 7' 19'' - 35^\circ 15' 37'' = 2' 11''$$



6-3-7 - إحداثيات نقطة تقاطع عدة مضلعات (العقدة) [46٢]

من الطبيعي أن تكون إحداثيات نقطة تقاطع مضلعين (أو أكثر) مختلفة باختلاف رقم للمضلع التي حسبت على أسامه . في الشكل (20-6) يمكن حساب إحداثيات العقدة أو نقطة التقاطع (I) من خلال أربعة مضلعات أو مسالك هما (1) و (2) و (3) و (4) . سيكون لنقطة التقاطع (I) أربع قيم مختلفة لكل من (X) و (Y) ولا بد من إيجاد قيمة واحدة لكل منهما وذلك بإتباع الخطوات التالية :

1 - احسب السميت لكل من الأضلاع (13) و (13') و (1a) و (1a') من خلال للمسالك الأربعة مبتدئاً بالسميت للعلوم لكل من هذه للمسالك (لاحظ أنه يوجد في بداية كل مسلك نقطتان معلومتان وبالتالي يمكن حساب السميت من خلالهما ولاحظ أيضاً أن جميع الزوايا للربطة بما قد تم قياسها في الليدان بما في ذلك الزوايا $\gamma, \beta, \theta, \eta$ التي يجري التحقق من أن مجموعها 360° و يوزع الخطأ بين هذه الزوايا الأربع واعتبارها مصححة وعلم إدخالها في أوزان السموت). وعليه سيكون لكل ضلع من هذه الأضلاع الأربعة أربعة سموت بقيم مختلفة . على سبيل المثال ، سيكون للضلع (13) السموت الأربعة :

$$(\alpha_{13})_1, (\alpha_{13})_2, (\alpha_{13})_3, (\alpha_{13})_4$$

2 - احسب السميت للوزون لكل الأضلاع (13), (13'), (1a), (1a') وذلك تبعاً لعدد الزوايا للقيمة في كل من للمسالك الأربعة . على سبيل المثال :

ملاحظات	الوزن (مكوس عدد الزوايا)	عدد الزوايا للقيمة لكل مسلك	للمسالك
الزوايا $\beta, \alpha, \eta, \theta$ غير داخلية في الأوزان حيث يجري تصحيحها على أسس أن مجموعها (360°) .	$w_1 = \frac{1}{4}$	4	1
	$w_2 = \frac{1}{4}$	4	2
	$w_3 = \frac{1}{6}$	6	3
	$w_4 = \frac{1}{5}$	5	4

$$(X_1)_1, (Y_1)_1, (X_1)_2, (Y_1)_2, (X_1)_3, (Y_1)_3, (X_1)_4, (Y_1)_4$$

4 - احسب الإحداثيات للوزونة للنقطة (1) ، أي : (x_i, y_i) وذلك تبعاً لمجموع أطوال مسلك من المسالك الأربعة على الشكل التالي :

الوزن	طول المسلك	للمسلك
(معكوس طول المسلك)	(أي مجموع أطوال الأضلاع لكل مسلك، m)	
$W_1 = 1/1411.62$	(من A حتى I 1411.62 بالفرض)	1
$W_2 = 1/1619.33$	(من C حتى I 1619.33 بالفرض)	2
$W_3 = 1/1798.19$	(من E حتى I 1798.19 بالفرض)	3
$W_4 = 1/1702.31$	(من G حتى I 1702.31 بالفرض)	4
	$\sum W_i = 6531.45$	

وعليه تكون الإحداثيات المتوسطة للوزونة للنقطة (1) مساوية

$$X_1 = \left(\sum_{i=1}^n (X_i)_i (W_i) \right) / \sum_{i=1}^n W_i \dots\dots\dots (30-6)$$

$$Y_1 = \left(\sum_{i=1}^n (Y_i)_i (W_i) \right) / \sum_{i=1}^n W_i \dots\dots\dots (30-6)$$

حيث (x_i, y_i) هي الإحداثيات للوزونة للنقطة (1) و $(X_i)_i, (Y_i)_i$ من المسلك ذي الرقم i كما ترمز (1) إلى رقم المضلع أو للمسلك وترمز (n) إلى عدد المضلعات أو للمسالك وكذلك (w) ترمز إلى وزن المضلع ذي الرقم (i) ويساوي معكوس طول كل مضلع .

وعليه تكون الإحداثيات للوزونة للنقطة (1) مساوية :

$$X_1 = \frac{(X_1)_1(W_1) + (X_1)_2(W_2) + (X_1)_3(W_3) + (X_1)_4(W_4)}{W_1 + W_2 + W_3 + W_4}$$

$$X_1 = [(X_1)_1(1/1411.62) + (X_1)_2(1/1619.33) + (X_1)_3(1/1798.19) + (X_1)_4(1/1702.31)] / [(1/1411.62) + (1/1619.33) + (1/1798.19) + (1/1702.31)]$$

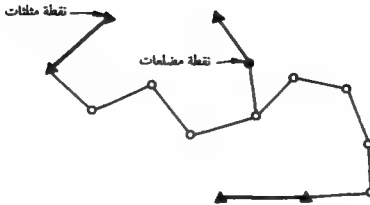
$$Y_1 = \frac{(Y_1)_1(w_1) + (Y_1)_2(W_2) + (Y_1)_3(W_3) + (Y_1)_4(W_4)}{W_1 + W_2 + W_3 + W_4}$$

$$Y_1 = [(Y_1)_1(1/1411.62) + (Y_1)_2(1/1619.33) + (Y_1)_3(1/1798.19) + (Y_1)_4(1/1702.31)] \\ [(1/1411.62) + (1/1619.33) + (1/1798.19) + (1/1702.31)]$$

5 - تحسب الآن الإحداثيات النهائية للنقاط المجهولة من كل مسلك (باستثناء نقطة التقاطع I) وذلك بإتباع نفس الأسلوب السابق، أي أن كل مسلك يبدأ بإحداثيات معلومة وسمت معلوم وينتهي كذلك بإحداثيات متوسطة موزونة (نعتبرها معلومة ونهائية) لنقطة التقاطع (I) وسمت معلوم (السمت للوزون لأحد المسالك وليكن في مثالنا الحالي (α_{1Y}) . على سبيل المثال، للضلع (I) يبدأ من النقطة (A) ذات الإحداثيات للعلومة والسمت للمعلوم α_{AB} (من خلال إحداثيات التقاطعين للعلومتين (B, A) وينتهي بالنقطة (I) ذات الإحداثيات للمتوسطة للوزونة (اعتبرت نهائية) وبالسمت للوزون α_{1Y} (اعتبر معلوماً أو نهائياً). كذلك فإن للضلع رقم (3) يبدأ بالنقطة للعلومة (E) وبالسمت للمعلوم (α_{EP}) وينتهي بالنقطة (I) ذات الإحداثيات للمتوسطة للوزونة (النهائية) وبالسمت للوزون النهائي (α_{1Y}) الذي نعتبره معلوماً. أما للضلع رقم (4) فيبدأ بالنقطة للعلومة (G) والسمت للمعلوم (α_{GH}) وينتهي أيضاً بالنقطة (I) ، التي أصبحت معلومة، وبالسمت للوزون النهائي (α_{1Y}) السذي أصبح معلوماً. وأخيراً بالنسبة للضلع الثاني فإنه يبدأ بالنقطة للعلومة (C) وبالسمت للمعلوم (α_{CB}) وينتهي بالنقطة (I) للعلومة أيضاً (كما ذكرنا أعلاه) وبالسمت للوزون والنهائي (α_{1Y}) الذي اعتبرناه معلوماً.

6-3-8 :إحداثيات نقاط المعالم والتفاصيل :

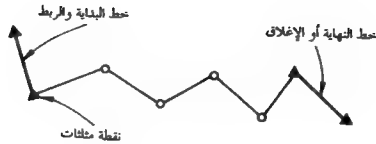
يمكن استخدام الطريقة القبطية في إيجاد إحداثيات النقاط للمثلة للمعالم المختلفة بجوار أضلاع للضلعات (أصبحت بعد حساب إحداثيات أطرافها خطوطاً أساسية مرجعية). يتم ذلك بتثبيت جهاز المحطة الشاملة في أحد طرفي خط الضلعات (الركن الأقرب للتفصيل أو للمعلم) والتوجيه نحو النقطة المحيرة وقياس مسافة وزيادة فتتج إحداثيات هذه النقطة (أو أن يتم قياس مسافة بواسطة الدسومات وزاوية أفقية بواسطة الثيودوليت ومن ثم تحسب إحداثيات النقطة). على سبيل المثال، في الشكل (21-6) بقياسنا



شكل 22-6 مقطع مفتوح طويل يبدأ بربطه من نقطتين معلومتين
ويجري غلقه على نقطتين أخريين معلومتين كل 2km إلى 3km

4 - هناك أشكال ومسميات أخرى للمضلعات للفتوحة خصوصاً لتلك التي تستعمل عندما لا تتوفر نقاط معلومة للخلق عليها.

5 - تكون دقة الإحداثيات المحسوبة لرؤوس (أركان أو ذروات) للمضلع أفضل عندما تقع هذه الذروات بين زوج نقاط مثلثات (الرابط) وزوج آخر من نقاط مثلثات (الإغلاق)، شكل (23-6). بينما تكون الدقة أقل في الحالات التي تنحصر فيها ذروات للمضلع بين زوج من نقاط مضلعات (الرابط) وزوج آخر من نقاط مضلعات (الإغلاق)، شكل (24-6) وشكل (25-6).



شكل 6-23 - مضلع قوي أو رئيسي
(زوج نقاط مثلثات للربط وزوج آخر للإغلاق)



شكل 6-24 - مضلع ضعيف نسبياً أو ثانوي (زوج من نقطتي مضلعات معلومة للربط وزوج من نقطتي مضلعات معلومة للإغلاق)

للقيس (أو المحسوب) والسمت للعلوم خط الغلق (من خلال الإحداثيات للعلوم خط الغلق) والناتج عن قياس الزوايا الأفقية .

9 - إن وجود نقطة (على الأقل) معلومة الإحداثيات في بداية المضلع وأخرى (على الأقل) معلومة الإحداثيات في نهايته يسمح بتحديد الخط الناتج عن قياس المسافات والزوايا معاً بمقارنة الإحداثيات المحسوبة وللعلوم لتقطة الغلق .

10 - إن طريقة المضلعات شائعة التطبيق في أيماننا الحاضرة (خصوصاً بعد شيوع استخدام أجهزة المستومات والمخططة الشاملة أو للتكاملة) وذلك لغايات إيجاد المواقع النسبية (Relative Positions) للعديد من النقاط للساحية التي تخص التفاصيل للنوع. أنها تلخص أساساً وببساطة في تعيين موقع أي نقطة من خلال قياس مسافة وزاوية.

11 - لا بد في أعمال المضلعات من الانطلاق من نقطة معلومة الإحداثيات والتقل على نقطة معلومة أخرى (بنفس نظام الإحداثيات) أو العودة إلى ذات النقطة بالإضافة إلى توفر خط معلوم السمت (Azimuth) في البداية وآخر معلوم السمت عند نهاية المضلع لغايات الإغلاق (أو العودة إلى نفس ضلع البداية). حدير بالذكر أنه إذا كانت لدينا نقطة واقعة على اتجاه معلوم ولكن إحداثياتها غير معلومة، عندها تكون هذه النقطة عبارة عن علامة اتجاه أو سمت (Azimuth Mark) .

12 - لغايات توفر عناصر التحقق وبيان درجة الدقة ونوعية العمل للساحي، يجري عادة في أعمال المضلعات الانطلاق من نقطتين معلومتين (أو نقطة معلومة اتجاه معلوم) بجوار بداية المضلع والتقل على نقطتين أخريين (معلومتين في نفس نظام الإحداثيات لتقطة البداية) بجوار نهاية المضلع (أو نقطة معلومة واتجاه معلوم).

13 - كما ذكرنا آنفاً، هناك تسميات متنوعة للمضلعات، فالبعض يطلق على المضلع الذي ينتهي بنقطة معلومة وينتهي أيضاً بنقطة معلومة (بنفس نظام الإحداثيات) بـ مضلع مغلق أو مضلع رابط (Close or Connecting Traverse) . كذلك يطلق على المضلع الذي لا يقفل على نقطة معلومة بالمضلع المفتوح (Open Traverse) . أما للمضلع المغلق الذي يبدأ بنقطة ويعود إلى ذات النقطة فيطلق عليه بالمضلع الحلقي (Loop

(Traverse) . أما للمضلع للمغلق الذي يبدأ بنقطة ويعود إلى ذات النقطة فيطلق عليه بالمضلع الحلقي (Loop Traverse) .

14 - يغلب استخدام للمضلع الرابط (Connecting Traverse) في إنشاء نقاط ضبط مساحية (Survey Control Points) لأعمال الطرق والسكك الحديدية وخطوط القوى ويختلف المشاريع ذات الصفة الطولية وذلك ضمن وعلى طول شريط الدراسة للمشروع المقترح إنشاءؤه (Proposed Corridor for a Route Construction) وذلك

15 - يغلب استخدام للمضلع الحلقي (Loop Traverse) في أعمال إنشاء نقاط مساحية جديدة لعمل مسح طبوغرافي لمشروع معين أو/و لتحديد أو بيان أطوال واتجاهات قطع الأراضي الواسعة (Boundaries of a Tract of Land) . في هذه الحالة تكون أركان المضلعات هي ذاتها أركان قطعة الأرض المراد تحديد أطوال واتجاهات أضلاعها وبالطبع أضلاع للمضلع هي نفسها أضلاع القطعة للمعتمة. هنا يلزم (في أغلب الأحيان لغايات الربط بالشبكة العامة للرجعية) ربط هذا المضلع الحلقي (أضلاع القطعة) بخط مجاور، معلوم الاتجاه وأحد طرفيه معلوم الإحداثيات أيضاً (أو أن يكون الخط رابطاً بين نقطتين معلومتين الإحداثيات) ، وذلك من خلال مضلع قصير (Short Traverse) ، شكل (27-6) .

ملاحظات على الشكل (6-28) :

- * تم تحديد موقع النقطة أو الركن (1) من اللقي بقياس زاوية (α) ومسافة (A,1)، الطريقة القبطية (Polar Method) .
- * تم تحديد موقع النقطة (2) بقياس زاويتين (B), (γ)، طريقة التقاطع الأمامي (Intersection Method) .
- * تم تحديد موقع النقطة (3) بقياس طول العمود (3,3') ومسافة (C, 3') أو (D,3') ، (Offset Method) .
- * تم تحديد موقع النقطة (7) بقياس مسافتين من نقطتين محددتين على خط أساسي D, 7 + 7, E أو $7,4'' + 7,4''$ ، (Pair of Ties) .

17 - يتبدى للضلع المفتوح (Open Traverse) بنقطة معينة ولا يفتق على نفس النقطة ولا على أي نقطة معلومة . على سبيل المثال الجزء (1, T₁, T₂) في الشكل (6-30) يمثل مضلعاً مفتوحاً يجب مراعاة أن يكون أقصر ما يمكن منعاً لتراكم الأخطاء حيث لا يتقل هذا النوع من المضلعات على نقطة معلومة لأغراض التدقيق والتعديل ولغايات الحكم على دقة القياسات الميدانية. يستخدم هذا النوع في تحديد خط الوسط للنفق في مرحلة التنفيذ. يجدر بالملاحظة أنه إذا لم يتوفر خط معلوم الاتجاه بجوار قطعة الأرض، عندها يجري تحديد اتجاه أحد أضلاع القطعة بإحدى طرق الرصد الفلكي .

18 - إن عدم تجاوز أخطاء القفل السمي (e_s) والمكاني (e_x, e_y) في حسابات مضلع ما لايعني بالضرورة عدم وقوع أخطاء معتبرة وحق فادحة . ذلك لأن احتمال وقوع أخطاء كبيرة ولكن متبادلة وملغية لبعضها البعض (أي متساوية تقريباً ومتعاكسة في الإشارة) في قياسات الزوايا والأضلاع ، أمر وارد في غياب احتياطات وعناصر تحقيق أخرى . لذلك يجب استخدام الأجهزة للصيانة والمعايرة (Calibrated) وإتباع برامج قياسات وحسابات مناسبة .

19 - يجب مراعاة عدم استخدام نوع قياسات بشكل أدق من نوع آخر لنفس المشروع، أي يراعى أن تكون دقة قياس الزوايا منسجمة مع دقة قياس للمسافات.

يعود هذا لسبب بسيط وهو أن مساحة المضلعات تستند أساساً إلى قياسات الزوايا والمسافات معاً. في الشكل (29-6) ، على سبيل المثال فإنه لتعيين موقع النقطة (2) بالنسبة لموقع النقطة (1) يلزم قياس الزاوية الأفقية (α) والمسافة الأفقية ($d_{1,2}$). الآن إذا كان الخطأ المعياري (Standard Error) للمصاحب لقياس الزاوية (σ_α) مساوياً $(\sigma_\alpha = \pm 10'')$ وأردنا تحقيق الانسجام والتساوي في دقة قياس الزاوية والمسافة، وجب عندها أن يكون الخطأ المعياري للمصاحب لقياس المسافة ($d_{1,2}$) (أي: $\sigma_{d_{1,2}}$) مساوياً :

$$\sigma_d = 2,2' = 2,2'' = d_{1,2} \sigma_\alpha$$

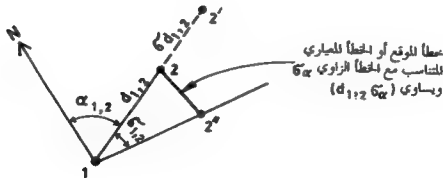
$$\sigma_d / d_{1,2} = \sigma_\alpha = 1 / 21\,000$$

أي أنه يتوجب قياس المسافة الأفقية ($d_{1,2}$) بدقة نسبية مقدارها (1/21000) في إطار (1σ) .

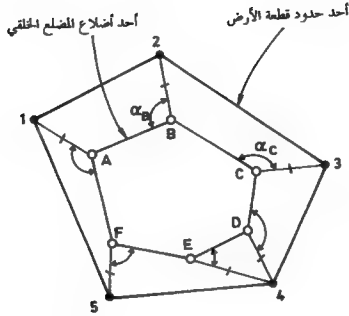
وبطريقة مشابهة لو كانت القياسات للمسافات تجري بواسطة دسومات بدقة نسبية مقدارها (1/50000) على أسس (1σ) فإن دقة قياس الزوايا التي تساوى وتنسجم مع هذه الدقة تكون :

$$\sigma = \sigma_d / d_{1,2}$$

$$\sigma = (150000)\text{radian}, \quad \sigma = \pm 4 \text{ ses}$$



شكل 29-6 - انسجام دقة قياس الزوايا مع دقة قياس المسافات



شكل 6 - 30 مثال رقم 6 -

علماً بأن سمت أو أزموت المضلع (B2) يحسب على الشكل التالي :

$$\alpha_{B2} = \alpha_{BA} + \alpha_B; \alpha_{BA} = \alpha_{AB} + 180^\circ$$

بنفس الطريقة نحسب إحداثيات الزاوية (3) بقياس المسافة الأفقية (3, 3) والزاوية (α_C) وعندئذ يكون لدينا :

$$X_3 = X_C + d_{C3} \sin(\alpha_{C3})$$

$$Y_3 = Y_C + d_{C3} \cos(\alpha_{C3})$$

حيث :

$$\alpha_{CS} = \alpha_{CB} + \alpha_C$$

$$\alpha_{CB} = \alpha_{BC} + 180^\circ$$

وفي جميع الحالات ، إذا زادت القيمة على (360) نطرح (360) .

وهكذا ونفس الأسلوب نحسب إحداثيات باقي زوايا قطعة الأرض (1,5,4) .

د - بمعرفة إحداثيات زوايا قطعة الأرض، يجري حساب اتجاهات وأطوال الأضلاع للمثلة لحدود قطعة الأرض من خلال إحداثيات طرفي كل ضلع باستعمال للمعادلات الرياضية أعلاه .

مثال 6-10 :

للمطلوب إنجاز العمليات الحسابية التالية للمضلع المبين في الشكل (6-31) :

أ - حساب الإحداثيات للصحة النهائية لكافة أركان للمضلع .

ب - حساب مسافة وانحراف كل ضلع من أضلاع للمضلع باستعمال الإحداثيات للصحة النهائية.

علماً بأن إحداثيات طرفي خط البداية المرجعي (T_1, T_2) هي كالتالي :-

	X (m)	Y (m)
T_1	5061.630	4327.520
T_2	4376.410	5923.190

أما أطوال الأضلاع ومقادير الزوايا الأقنية فهي ملونة على الشكل نفسه .

ملحوظة :

افترض أنه تم استعمال جهاز ثيودوليت عتة الأصفرى (Leica Conax) دقيقة مستينية واحدة (1" Theodolite) في قياسات الزوايا الأقنية. كذلك افترض أن العمل المطلوب لغايات المرحلة الاستطلاعية الأولية من دراسة مشروع طريق معين تمّا لا يتطلب دقة عالية ، ولتكن 1/2000 (حالة افتراضية فقط). مرة أخرى اعتبر الأرقام الواردة هنا هي لغايات التوضيح بشكل أساسي .

الحل :

1 - حساب الانحراف اللاتري الكلي (السمت أو الأزموث) للمضلع المرجعي (T_1, T_2) .

$\alpha 3-4 = \longrightarrow \rightarrow$	$112^{\circ} 05' 20''$ $+ 180^{\circ} 00' 00''$
$\alpha 4-3 = \longrightarrow \rightarrow$	$292^{\circ} 05' 20''$ $+ 202^{\circ} 40' 36''$ <hr/> $494^{\circ} 45' 56''$ $- 360^{\circ} 00' 00''$
$\alpha 4-5 = \longrightarrow \rightarrow$	$134^{\circ} 45' 56''$ $+ 180^{\circ} 00' 00''$
$\alpha 5-4 = \longrightarrow \rightarrow$	$314^{\circ} 45' 56''$ $+ 306^{\circ} 01' 45''$ <hr/> $620^{\circ} 47' 41''$ $- 360^{\circ} 00' 00''$
$\alpha 5-6 = \longrightarrow \rightarrow$	$260^{\circ} 47' 41''$ $- 180^{\circ} 00' 00''$
$\alpha 6-5 = \longrightarrow \rightarrow$	$080^{\circ} 47' 41''$ $+ 194^{\circ} 36' 16''$
$\alpha 6-7 = \longrightarrow \rightarrow$	$275^{\circ} 23' 57''$ $- 180^{\circ} 00' 00''$
$\alpha 7-6 = \longrightarrow \rightarrow$	$095^{\circ} 23' 57''$ $- 263^{\circ} 06' 21''$
$\alpha 7-1 = \longrightarrow \rightarrow$	$358^{\circ} 30' 18''$ $- 180^{\circ} 00' 00''$
$\alpha 1-7 = \longrightarrow \rightarrow$	$178^{\circ} 30' 18''$ $+ 207^{\circ} 22' 43''$ <hr/> $385^{\circ} 53' 01''$ $- 360^{\circ} 00' 00''$
$\alpha 1-2 = \longrightarrow \rightarrow$	$025^{\circ} 53' 01''$

3 - خطأ القفل السمتي (Closure Error in Azimuth, ϵ_a)

$$\epsilon_a = \alpha_{12}(\text{comp}) - \alpha_{12}(\text{obs})$$

$$\epsilon_a = 25^\circ 53' 01'' - 25^\circ 50' 44'' = 00^\circ 02' 17''$$

وحيث أننا افترضنا استعمال جهاز ثيودوليت عدّة الأصغري يساوي (1'')، لذلك

فإن الخطأ للسوح يساوي :

$$d\sqrt{N} = 1' \sqrt{7} = 2' 39''$$

حيث ترمز (d) إلى العدّة الأصغري لجهاز الثيودوليت وترمز (N) إلى عدد زوايا أو أركان للضلع. من الواضح أن خطأ القفل السمتي المحسوب أعلاه (2' 17'') أصغر من الخطأ للسوح به ، لذلك يمكن توزيع خطأ القفل السمتي على الشكل التالي.

4 - توزيع خطأ القفل في الانحرافات (ϵ_a) :

يتم التوزيع وفق للمعادلة : $C_{a_i} = -i(\epsilon_a / n)$ حيث ترمز (C_{a_i}) إلى مقدار التصحيح السمتي للضلع (i) وترمز (i) إلى رقم الضلع الخاضع للتصحيح وأما (n) فترمز إلى عدد الزوايا الداخلة في حساب الانحرافات وعليه سيكون لدينا التصحيحات التالية (مع ملاحظة أننا افترضنا قياس الزوايتين 1,2 و 1,1 T_1, T_2 بدقة شديدة وبالتالي مستحتم أن سميت الضلع 1,2 المحسوب من خلال هاتين الزوايتين، بالإضافة إلى السميت المحسوب للضلع للرجحي T1 T2، دقيقاً ومرجعياً في حسابات السموت وتصحيحها لأضلاع للضلع الباقية):

$$C_{a_{1,2}} = -1(137''/7) = -20''$$

$$C_{a_{1,1}} = -2(137/7) = -39''$$

$$C_{a_{2,2}} = -3(137/7) = -59''$$

$$C_{a_{2,1}} = -4(137/7) = -1' 18''$$

$$C_{a_{3,1}} = -5(137/7) = -1' 38''$$

$$C_{a_{3,2}} = -6(137/7) = -1' 57''$$

$$C_{a_{3,3}} = -7(137/7) = -2' 17''$$

انظر الجدول (2-6) التالي الذي يبين الانحرافات للصحة (α_i) بموجب تطبيق العلاقة

$$\alpha_i' = \alpha_i + C_{a_i}$$

6 - خطأ القفل في الإحداثيات :

1 - خطأ الإغلاق أو القفل السيني (ϵ_x)

$$\epsilon_x = X_{1(\text{comp})} - X_{1(\text{known})}$$

$$\epsilon_x = 5181057 - 5180918 = +0.139\text{m}$$

2 - خطأ الإغلاق الصادي (ϵ_y)

$$\epsilon_y = Y_{1(\text{comp})} - Y_{1(\text{known})}$$

$$\epsilon_y = 4310.114 - 4309.745 = +0.369\text{m}$$

3 - الخطأ الخطي (ϵ_d)

$$\text{Linear Error} = \epsilon_d = [(\epsilon_x)^2 + (\epsilon_y)^2]^{\frac{1}{2}}$$

4 - الخطأ النسبي

$$\text{Relative Error} = \epsilon_d / \sum L_i = 0.394 / 874.351 = 1 / 2000$$

7 - توزيع خطأ القفل (الإغلاق أو التكمين)

بافتراض أن الخطأ النسبي مقبول، ستقوم بتوزيعه على الشكل التالي :

$$C_{x_i} = -(\sum L_i / D) \epsilon_x$$

$$C_{y_i} = -(\sum L_i / D) \epsilon_y$$

حيث :

C_{x_i} التصحيح على الإحداثي السيني الأولي للنقطة (i).

C_{y_i} التصحيح على الإحداثي الصادي الأولي للنقطة (i)

$\sum L_i$ المجموع التراكمي لأطوال الأضلاع حتى النقطة للصورة (i)

D مجموع أطوال أضلاع للضلع

ϵ_x خطأ الإغلاق السيني

ϵ_y خطأ الإغلاق الصادي

انظر الجدول رقم (6 - 4) .

8 - حساب الإحداثيات النهائية (X_i, Y_i) :

تُحسب الإحداثيات النهائية (X_i, Y_i) لكل نقطة من نقاط المضلع المعطاة بإضافة مقدار التصحيح (السيني والصادي) المحسوب لكل من هذه النقاط إلى كل من الإحداثيين السيني والصادي الخاص بكل من هذه النقاط وذلك على الشكل التالي، انظر الجدول رقم (4-6):

$$X'_i = X_i + C_{xi}$$

$$Y'_i = Y_i + C_{yi}$$

حيث ترمز (Y_i, X_i) إلى الإحداثيات الأولية للنقطة للخطوة (i).

9 - حساب الأطوال النهائية (d_i) والانحرافات (السموت) النهائية (α_i) لأضلاع المضلع باستخدام الإحداثيات النهائية.

بعد أن انتهينا من تصحيح الإحداثيات نقوم باستخدامها في حساب الأطوال والسموت النهائية لأضلاع المضلع، انظر الجدول رقم (5-6).

الجدول رقم (4-6)

الخطوة	طول المضلع m	$\sum \Delta_i$ (m)	التصحيات		الإحداثيات الأولية		الإحداثيات النهائية	
			Cxi (m)	Cyi (m)	X (m)	Y (m)	X'(m)	Y'(m)
1	126.534	126.534					5180.918	4309.745
2	57.401	183.935	-0.020	-0.053	5236.080	4423.622	5236.060	4423.569
3	158.256	342.191	-0.029	-0.078	5292.785	4432.533	5292.756	4432.455
4	125.821	468.012	-0.054	-0.144	5439.431	4373.052	5439.377	4372.908
5	250.143	718.155	-0.074	-0.198	5528.789	4284.473	5528.715	4284.275
6	99.766	817.921	-0.0114	-0.303	5281.883	4244.364	5281.769	4244.061
7	56.430	874.351	-0.345	-0.345	5182.561	4253.704	5182.431	4253.359
1			-0.369	-0.369	5181.057	4310.114	5180.918	4309.745



شكل رقم 6-32- المثال رقم 6-11

الحصل :

-1 حساب الانحراف الدائري الكلي (أزموث) للخط المرجعي (A2 A3):

$$\alpha_{A2-A3} = \tan^{-1} \frac{X_{A3} - X_{A2}}{Y_{A3} - Y_{A2}}$$

$$\alpha_{A2-A3} = \tan^{-1} \left(\frac{1787.000 - 1748.552}{5266.018 - 5051.688} \right) = 10^{\circ} 10' 12''$$

-2 حساب الأزموث لأضلاع المضلع (α_{ij}) :

	°	'	''
α_{A2-A3}	10	10	12
	+113	20	33
α_{A3-I}	123	30	45
	+180	00	00
α_{I-A3}	303	30	45
	+52	34	40
α_{I-2}	356	05	25
	-180	00	00
α_{3-I}	176	05	25
	+184	26	28
.....	360	31	53
	-360	00	00
α_{3-1}	000	31	53
	+180	00	00
α_{1-2}	180	31	53

	<u>+149</u>	<u>34</u>	<u>20</u>
$\alpha_{2,4}$	330	06	13
	<u>-180</u>	<u>00</u>	<u>00</u>
$\alpha_{4,2}$	150	06	13
	<u>+185</u>	<u>18</u>	<u>15</u>
$\alpha_{4,4}$	335	24	28
	<u>-180</u>	<u>00</u>	<u>00</u>
$\alpha_{6,4}$	155	24	28
	<u>+176</u>	<u>10</u>	<u>15</u>
$\alpha_{6,6}$	331	34	43
	<u>-180</u>	<u>00</u>	<u>00</u>
$\alpha_{8,4}$	151	34	43
	<u>+184</u>	<u>41</u>	<u>07</u>
$\alpha_{6,7}$	336	15	50
	<u>-180</u>	<u>00</u>	<u>00</u>
$\alpha_{7,6}$	156	15	50
	<u>+128</u>	<u>35</u>	<u>18</u>
$\alpha_{7,8}$	284	51	08
	<u>-180</u>	<u>00</u>	<u>00</u>
$\alpha_{9,7}$	104	51	08
	<u>+000</u>	<u>55</u>	<u>06</u>
$\alpha_{9,10}$	105	46	14
	<u>+180</u>	<u>00</u>	<u>00</u>
$\alpha_{10,9}$	285	46	14
	<u>+84</u>	<u>58</u>	<u>25</u>
.....	370	44	39
	<u>-360</u>	<u>00</u>	<u>00</u>
$\alpha_{10,10}$	10	44	39

3- خطأ الإغلاق (القفل أو التسكير ε_{α} Closure) في الانحرافات
دعنا نرمز خطأ الإغلاق في الانحرافات (Closure in Azimuth)
بـ (ε_{α}) :

$$\varepsilon_{\alpha} = \alpha_{A10-A42(comp.)} - \alpha_{A10-A42(known.)}$$

$$\varepsilon_{\alpha} = 10^{\circ} 44' 39'' - 10^{\circ} 41' 33'' = 3' 6''$$

بالمفروض أن درجة الدقة المطلوبة هي المربة الرابعة (مرحلة الاستكشاف والتخطيط ،
كتاب مساحة المسارات لقرقة ، د. يوسف صيام ، صفحة رقم 89 ، جدول رقم
(4-12)) .

وبالمفروض أن جهاز الثيودوليت المستخدم في قياس الزوايا كان بمدة اصغري
(d;Least Count) مقداره ($d=1'$) ، أي (Theodolite $1'$) وحيث أن
(N) التي سوزم إلى عدد الزوايا المقاسة والداخلية في حسابات الانحرافات تساوي
(10) ، عندها يكون انجبال المسموح في خطأ القفل في الانحرافات مساوياً :

$$d\sqrt{N} = 1'\sqrt{10} = 190''$$

وهذا المقدار أكبر من خطأ القفل المحسوب ($186''$) وعليه يمكن توزيعه على كامل
الانحرافات كما هو موضح في الفقرة التالية .

4- توزيع خطأ الإغلاق في الانحرافات (ϵ_α)

مستقرم بموزع خطأ الإغلاق باستخدام العلاقة التالية :

$$C_{\text{تجز}} = - i (\epsilon_\alpha / N)$$

(وذلك بالفروض أن خطأ الإغلاق لا يتجاوز المجال المسموح به كما ذكرنا في الفقرة السابقة) حيث ترمز ($C_{\text{تجز}}$) إلى مقدار التصحيح في انحراف الضلع (i_j) و (ϵ_α) إلى مقدار خطأ القفل أو الإغلاق و (i) إلى رقم أو الترتيب المتسلسل للزاوية أو الضلع الخاضع للتصحيح ، واما (N) فيرمز إلى عدد اضلاع المضلع الخاضعة للتصحيح (نفس عدد الزوايا الداخلة في حساب الانحرافات وصولاً إلى حساب خطأ القفل أو الإغلاق في الانحرافات).

وعليه نقوم بترتيب الجدول رقم (6-6) التالي الذي يبين الانحرافات المصححة (α'_{ij})

$$\alpha'_{ij} = \alpha_{ij} + C_{\text{تجز}} \quad \text{بحسب تطبيق العلاقة الرياضية التالية :}$$

جدول رقم (6-6) الانحرافات المصححة لأضلاع المثلث (α'_{ij})

الضلع ij	الانحراف الدائري أو الأزموث α_{ij}			مقدار التصحيح $C_{\alpha ij} = i(\epsilon_{\alpha}/N)$		الانحراف المصحح ($\alpha'_{ij} = \alpha_{ij} + C_{\alpha ij}$)		
	°	/	//	/	//	°	/	//
A ₇ -1	123	30	45	-0	19	123	30	26
1-2	356	05	25	-0	37	356	04	48
2-3	00	31	53	-0	56	0	30	57
3-4	330	6	13	-1	14	330	04	59
4-5	335	24	28	-1	33	335	22	55
5-6	331	34	43	-1	52	331	32	51
6-7	336	15	50	-2	10	336	13	46
7-8	284	51	08	-2	29	284	48	39
8-A ₁₀	105	46	14	-2	47	105	43	27
A ₁₀ -A ₄₂	10	44	39	-3	06	10	41	33

5- حساب الإحداثيات الأولية (Preliminary Coordinates)

انطلاقاً من إحداثيات نقطة البداية (A_2) ذات الإحداثيات المعروفة نقوم بحساب إحداثيات أركان المضلع باستخدام العلاقات الرياضية التالية :

$$X_j = X_i + d_{ij} \sin \alpha_{ij}'$$

$$Y_j = Y_i + d_{ij} \cos \alpha_{ij}'$$

حيث ترمز (d_{ij}) إلى مسافة الضلع (ij) الأفقية ويمكن كتابة العلاقات أعلاه ، أيضاً ، على الشكل التالي :

$$X_j = X_i + \Delta X_{ij}$$

$$Y_j = Y_i + \Delta Y_{ij}$$

حيث :

$$\Delta X_{ij} = d_{ij} \sin \alpha_{ij}'$$

$$\Delta Y_{ij} = d_{ij} \cos \alpha_{ij}'$$

وعليه نقوم بترتيب الجدول رقم (6- 7) التالي بالإحداثيات الأولية (X_i , Y_i) لأركان المضلع :

6- خطأ الإغلاق في الإحداثيات

دعنا نرمز خطأ الإغلاق في الإحداثيات السنية ب E_x وخطأ الإغلاق في الإحداثيات الصادية ب E_y ،

جدول 7-6- الإحداثيات الأولية (X_i and Y_i Preliminary Coordinates)

القطعة	الإحزاف المصحح α'_i	المسافة d_i	المركبة السوية $\Delta X_i = d_i \sin \alpha'_i$	المركبة الصادية $\Delta Y_i = d_i \cos \alpha'_i$	الإحداثي السيني الأولي X	الإحداثي الصادي الأولي Y
Station	Corrected α'_i ° / //	Distance m				
A ₂	123 30 26	28.830	24.039	- 15.915	1748.552	5051.688
1	356 04 48	152.526	- 10.427	152.169	1772.591	5035.773
2	000 30 57	223.404	2.011	223.395	1762.164	5187.942
3	330 04 59	118.158	- 58.931	102.413	1764.175	5411.337
4	335 22 55	300.113	- 125.017	272.834	1705.244	5513.75
5	331 32 51	274.347	- 130.707	241.209	1580.227	5786.584
6	336 13 40	368.520	- 148.551	337.253	1449.520	6027.793
7	284 48 39	246.215	- 238.035	62.940	1300.969	6365.046
8	105 43 27	138.925	133.726	- 37.650	1062.928	6427.985
A ₁₀					1196.654	6390.336

حيث :

$$\epsilon_x = X_{A10(comp.)} - X_{A10(Kaowa)}$$

$$\epsilon_x = 1196.654 - 1196.949 = -0.295m$$

$$\epsilon_y = Y_{A10(comp.)} - Y_{A10(Kaowa)}$$

$$\epsilon_y = 6390.336 - 6390.455 = -0.119m$$

أما مقدار الخطأ الخطي (Linear Error) ، أي ϵ_d ، فيساوي :

$$\epsilon_d = \sqrt{(\epsilon_x)^2 + (\epsilon_y)^2}$$

$$\epsilon_d = \sqrt{(-0.295)^2 + (-0.119)^2} = 0.32m$$

ومقدار الخطأ النسبي فيساوي :

$$\text{Relative Error} = (\epsilon_d) / (\sum d_i) = \frac{0.32}{1851.038} = \frac{1}{5784}$$

حيث ترمز $\sum d_i$ الى مجموع اضلاع المضلع الداخلة في حساب الاحتمالات ، ويمكن الرمز لها ايضاً بـ (D) .

وبالمواضح أن هذا الخطأ النسبي مقبول (يعني متطلبات الثقة للمرحلة الرابعة - مرحلة الاستكشاف والتخطيط ، كتاب مساحة المسارات لرفقه د. يوسف صيام ، صفحة رقم (89) ، جنول رقم (4-12) لذلك سنقوم بتوزيعه كما هو موضح في الفقرة التالية .

7- توزيع خطأ الإغلاق في الإحداثيات (E_x, E_y)

نقوم الآن بتوزيع خطأ الإغلاق في كل من مجموعة الإحداثيات السنية ومجموعة الإحداثيات الصادية على الشكل التالي (انظر الجدول رقم (8-6) :

$$C_{xi} = - \left(\frac{E_x}{D} \right) Li$$

$$C_{yi} = - \left(\frac{E_y}{D} \right) Li$$

حيث تشير (E_x) و (E_y) الى خطاي الإغلاق في الإحداثيات السنية والصادية على الترتيب (كما ذكرنا آنفا) وترمز (D) الى مجموع أطوال أضلاع المضلع الداخلة في حساب الإحداثيات (كما ذكرنا آنفا) وترمز (L_i) الى المجموع الزاوي لأطوال أضلاع المضلع المعتمراً بدءاً من الضلع المعبر الأول ولغاية النقطة المعبرة (I) وأخيراً ترمز (C_{xi}) و (C_{yi}) الى التصحيحين الواجب تطبيقهما (اضافتهما جبرياً) الى الإحداثيين السني والصادي للنقطة (i) على الترتيب. الجدول رقم (8-6) التالي يوضح مقدار التصحيح الواجب اضافته جبرياً الى كل من الإحداثيين السني والصادي الأوليين (Preliminary X and Y Coord.) لكل نقطة محسوبة من نقاط المضلع. كذلك يوضح الجدول الإحداثيات السنية والصادية النهائية لهذه النقاط (عبارة عن الإحداثيات الأولية X_i و Y_i ، مضافاً إليها جبرياً التصحيحات المحسوبة لكل نقطة، i ، وهما : (C_{xi}) و (C_{yi}).

جدول رقم - 6-8- الإحداثيات النهائية (X', Y')

الإحداثيات الفضائية				الإحداثيات السببية			
Y - Coordinates		X - Coordinates		Station		المسافة التراكمية (Cumulative Distance)	
القياسي (Final)	الاصحاح (Correction)	القياسي (Final)	الاصحاح (Correction)	القياسي (Final)	الاصحاح (Correction)	القياسي (Final)	الاصحاح (Correction)
$(Y' = Y + CY)$	$(CY = -E_y/D) \cdot L_1$	$(X' = X + CX)$	$(CX = -E_x/D) \cdot L_1$	X_1	L_1	X_1	L_1
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
5051.688	0.000	1748.552	0.000	1748.552	000.000	A ₂	
5035.775	0.002	1772.596	0.005	1772.591	078.830	1	
5187.954	0.012	1762.193	0.029	1762.164	181.356	2	
5411.363	0.026	1764.240	0.065	1764.175	404.760	3	
5513.794	0.034	1705.327	0.083	1705.244	522.918	4	
5786.63	0.053	1580.358	0.131	1580.227	822.031	5	
6027.864	0.071	1449.695	0.175	1449.520	1097.378	6	
6365.139	0.094	1301.203	0.234	1300.969	1465.898	7	
6428.095	0.110	1063.201	0.273	1062.928	1712.113	8	
6390.455	0.119	1196.949	0.295	1196.654	1851.038	A ₁₀	

* المصحح على الإحداثي السببي الأول للخطوة المحددة (1) : CX_1

* المصحح على الإحداثي السببي الأول للخطوة المحددة (1) : CY_1

* المصحح على الإحداثي السببي الأول للخطوة المحددة (1) : CX_1

* المصحح على الإحداثي السببي الأول للخطوة المحددة (1) : CY_1

8- حساب الإحداثيات النهائية (X'_i و Y'_i)

تُحسب الإحداثيات النهائية (X'_i و Y'_i) لكل نقطة من نقاط المضلع المعصورة بإضافة مقدار التصحيح (السيني والصادي) المحسوب لكل من هذه النقاط إلى الإحداثي (السيني والصادي) الخاص بكل من هذه النقاط وذلك على الشكل التالي :

$$\begin{aligned} X'_i &= X_i + C_{Xi} \\ Y'_i &= Y_i + C_{Yi} \end{aligned}$$

9- حساب أطوال (d'_{ij}) وانحرافات (α''_{ij}) أضلاع المضلع باستخدام الإحداثيات النهائية

الآن وبعد تصحيح الإحداثيات وحساب الإحداثيات النهائية (X'_i , Y'_i) لأركان المضلع يجري حساب الأطوال والانحرافات المصححة النهائية استنادا إلى الإحداثيات النهائية وذلك على الشكل التالي، انظر الجدول رقم (6-9) :

$$\begin{aligned} d'_{ij} &= \sqrt{(X'_i - X'_j)^2 + (Y'_i - Y'_j)^2} \\ \alpha''_{ij} &= \tan^{-1} \left(\frac{X'_j - X'_i}{Y'_j - Y'_i} \right) \end{aligned}$$

جدول رقم 6-9- حساب أطوال وانحرافات أضلاع المضلع باستخدام الإحداثيات النهائية

المحطة أو النقطة Station	الضلع Side	الإحداثيات النهائية Final Coordinates		الانحراف النهائي Final Azimuth			الطول النهائي Final Length
		X'_i	Y'_i		α''_{ij}		d'_{ij}
		(m)	(m)	°	'	''	(m)
A2		1748.552	5051.688				
	A2 - 1			123	29	52	28.832
1		1772.596	5035.775				
	1 - 2			356	05	20	152.534
2		1762.193	5187.954				
	2 - 3			0	31	29	223.418
3		1764.240	5411.363				
	3 - 4			330	5	32	118.156
4		1705.327	5513.784				
	4 - 5			335	23	29	300.111
5		1580.358	5786.637				
	5 - 6			331	33	27	274.342
6		1449.695	6027.864				
	6 - 7			336	14	14	368.516
7		1301.203	6365.139				
	7 - 8			284	49	01	246.182
8		1063.201	6428.095				
	8 - A ₁₀			105	43	05	138.944
A ₁₀		1196.949	6390.455				

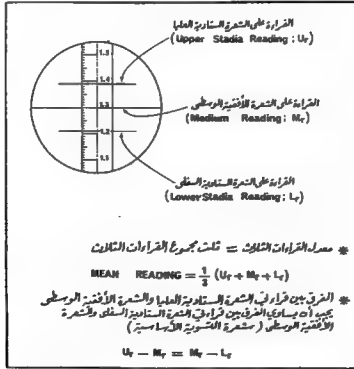
3-6-11 حساب المناسيب لرؤوس المضلعات 4 [33م] [46م] [51م]

يمكن حساب مناسيب أركان أو ذروات للمضلع بطرق ثلاث هي : طريقة التسوية العادية (Ordinary Levelling) والتسوية الدقيقة (Precise Levelling) . بالنسبة للتسوية العادية فهي ليست بالمطابقة أو بالشاملة في تعيين مناسيب رؤوس المضلعات، أما طريقة التسوية للثلاثية فسيتم شرحها بالتفصيل في الفصل السابع وبالنسبة لطريقة التسوية الدقيقة فهي التي سنشرحها هنا في هذا البند .

3-6-11-1 مبدأ القياس في التسوية الدقيقة :

يتلخص مبدأ القياس في طريقة التسوية الدقيقة بالنقاط الرئيسة التالية :

- 1 - استخدام جهاز تسوية دقيق (Automatic Geodetic Level) .
- 2 - استخدام مسطرة بنوعية ممتازة وتدرجات صغيرة وملحقات تسمح بقراءة المسطرة لأقرب ملمتر وربما لأقرب جزء من لثلاثة من المليمتر إضافة إلى مايساعد في ضبط شاقولية للمسطرة أثناء رصدها .. الخ .



شكل 6 - 33 القراءة على الشعرات الستادية الثلاث

3 - أخذ ثلاث قراءات عند تقاطع الشعرات الستادية الثلاث مع المسطرة عند كل نقطة من النقاط للرصودة واعتماد معدل القراءات الثلاث، لاحظ الشكل (6-33). إن كلمة " الستادية " تعني أنه بالإمكان حساب للمسافة الأفقية بين موقع الجهاز وموقع للمسطرة بضرب فرق القراءتين على شرعتين ستاديتين متاليتين (الوسطى والعليا أو الوسطى والسفلى) بنات خاص بالجهاز كان يكون (50) أو (100) الخ. بالطبع هناك فائدة وضرورة لمعرفة للمسافة بين موقع الجهاز وموقع للمسطرة وذلك لغايات الحكم على دقة القياسات حيث تزداد الدقة كلما تساوت (وصغرت) مسافات القراءات الأمامية مع مسافات القراءات الخلفية كما يستطيع من خلال الأمثلة اللاحقة ومن خلال دراسة جدول المواصفات رقم (6-10) الخاص بمتطلبات التسوية الدقيقة .

جدول 6-10 متطلبات التسوية الدقيقة ([33])

الشروط والمتطلبات Requirements	المرتبة الثالثة Third Order	المرتبة الثانية Second Order		المرتبة الأولى First Order	
		صنف ثان Class 2	صنف أول Class 1	صنف ثان Class 2	صنف أول Class 1
طول خط النظر الأعظمي بين الجهاز والمسطرة .	90m	70m	60m	60m	50m
الفرق الأعظمي بين مسافة القراءة الأمامية ومسافة القراءة الخلفية عند كل موقع للجهاز.	10m	10m	5m	5m	2m
الفرق الأعظمي بين مجموع مسافات القراءات الأمامية ومجموع مسافات القراءات الخلفية .	10m	10m	10m	10m	4m
خطأ القفل (Closure Error) الأعظمي في التسوية.	12mm \sqrt{k}	8mm \sqrt{k}	6mm \sqrt{k}	5mm \sqrt{k}	4mm \sqrt{k}
نوع جهاز التسوية المستخدم	Geodetic Level	Geodetic Level	Automatic or Tilting Invar Rod	Automatic or Tilting Invar Rod	Automatic or Tilting Invar Rod
نوع المسطرة المستخدمة	Ordinary Leveling Rod	Invar Rod	Invar Rod	Invar Rod	Invar Rod
طريقة القراءة			With Optical Micrometer	With Optical Micrometer	With Optical Micrometer

الجدول (11-6) يوضح طريقة تسجيل القراءات مع ملاحظة أنه بعد حساب واعتماد معدلات القراءات يجري حساب فروق للناسيب والناسيب للنقاط المختلفة وذلك بنفس أسلوب طريقة التسوية العادية تماماً كما سنوضح ذلك في أمثلة لاحقة .

لحساب فرق للنسوب بين علامة للنسوب الأولى (B.M.1) والأخيرة (B.M.2) وفقاً للمعلومات الواردة في الجدول (11-6) ، تجمع القراءات الخلفية بكاملها والقراءات الأمامية بكاملها فيكون فرق للنسوب الدقيق بين علامتي للنسوب (B.M.2, B.M.1) مساوياً للفرق بين مجموعتي القراءات الخلفية والأمامية ، أي أن :

$$R.L. \text{ of B.M.2} - R.L. \text{ of B.M.1} = \Sigma (B.S.) - \Sigma (F.S.)$$

$$R.L. \text{ of B.M.2} - R.L. \text{ of B.M.1} = 7.292 - 8.774 = - 1.482 \text{ m}$$

وعليه إذا افترضنا أن منسوب الـ (B.M.1) يساوي (871.652 m) فإن منسوب الـ (B.M.1) يساوي :

$$871.652 - 1.482 = 870.170 \text{ m}$$

جدول 6 - 11 تسجيل القراءات في طريقة التسوية الدقيقة

B.S. القراءة الخلفية			F.S. القراءة الأمامية		
القراءة على الشحومات Hair Readings	القراءة للمتوسطة Mean Reading	الفرق الستادي Stadia Interval	القراءة على الشحومات Hair Readings	القراءة للمتوسطة Mean Reading	الفرق الستادي Stadia Interval
B.M. 1 1.984 1.338 <u>0.688</u> 4.010	1.337	0.646 <u>0.650</u> 1.296	3.719 3.027 <u>2.325</u> 9.081	3.027	Point No.A 0.692 <u>0.692</u> 1.384
Point No. A 3.647 2.933 <u>2.218</u> 8.798		0.714 <u>0.715</u> 1.429	3.410 2.664 <u>1.916</u> 7.990		Point No.B 0.746 <u>0.748</u> 1.494
Point No. B 3.802 3.021 <u>2.242</u> 9.065		0.781 <u>0.779</u> 1.560	3.822 3.083 <u>2.348</u> 9.253		B.M. 2 0.739 <u>0.735</u> 1.474
	7.292	4.285		8.774	4.352

لاحظ في الجدول (6-11) كيف أن الفرق الستادي للقراءة الأمامية يتساوي تقريباً مع الفرق الستادي للقراءة الخلفية بحيث لا تختلف مسافة القراءة الأمامية عن مسافة القراءة الخلفية بأكثر من المسموح به وفقاً للوصافات المطلوبة وبالرجوع إلى جدول معايير الدقة (الجدول رقم 6-10) . كذلك لاحظ أن يتساوي تقريباً مجموع الفروق الستادية للقراءات الأمامية (4.352) مع مجموع الفروق الستادية للقراءات الخلفية (4.285) بحيث لا يختلف مجموع مسافات القراءات الأمامية عن مجموع مسافات القراءات الخلفية بأكثر من المقدار للنصوص عليه في للوصافات .

2-11-3-6 متطلبات التسوية الدقيقة :

لتحقيق درجة عالية من الدقة ، يراعى أخذ النقاط الأساسية التالية بعين الاعتبار :

- 1 - أجهزة دقيقة وعناية في الحقل ودقة في الرصد والقياس ومعايرة منتظمة للأجهزة .
- 2 - طرق رياضية مناسبة لتوزيع الأخطاء للمسموح بها .
- 3 - ضبط يومي (خلال أيام العمل) لجهاز التسوية .
- 4 - ضبط شاقولية للمسطرة عند رصدها وفحص تدريجياتها ومعايرتها بانتظام .
- 5 - مراقبة مستمرة لفقاعة التسوية عند أخذ القراءات .
- 6 - مراعاة كافة الشروط الواردة في جدول للوصافات الخاص بمعايير الدقة التي تنسجم مع غايات وأهداف للمشروع للساحي للعتبر .
- 7 - تسجيل درجة الحرارة ومعلومات عن الريح وكذلك تاريخ ووقت إجراء القياسات.
- 8 - حماية جهاز التسوية من تأثيرات الشمس والرياح باستخدام مظلة ويحجب ما أمكن أخذ قراءة أقل من (0.5mm) على المسطرة .
- 9 - تحقيق القياسات بعملية أخرى عكسية يفضل أن يقوم بها مساح آخر في وقت آخر وباستخدام جهاز ومساطر مختلفة إن أمكن .

10 - تثبيت الجهاز على أرض صلبة ثابتة في منتصف للمسافة تقريباً ($\pm 2 \text{ m}$) بين موقعي القراءة الأمامية والقراءة الخلفية .

11 - تثبيت المسطرة عند نقاط التحول فوق قاعدة ثابتة صلبة مستوية (منبسطة) مناسبة .

12 - استعمال مساطر جيدة النوعية تقاوم تغيرات الحرارة والرطوبة كمسطرة الأنفار على سبيل المثال (Invar Levelling Staff).

3-11-3-6 ملاحظات عامة حول أعمال التسوية ، [11م] [18م] [19م] [22م] [51م]

نذكر فيما يلي بعضاً من الاعتبارات الأساسية التي ينصح بمراعاتها في معظم أعمال التسوية :

1 - يفضل في حالة التسوية العادية ، أن لا تزيد للمسافة بين الجهاز والمسطرة عن عدة متر وأن لا تتجاوز الخمسين متراً في أعمال التسوية الدقيقة .

2 - لمزيد من الدقة في تعيين فرق النسوب بين نقطتين ، ينصح بوضع جهاز التسوية في منتصف للمسافة بين هاتين النقطتين (أي في منتصف للمسافة بين النقطة ذات القراءة الخلفية(مؤخرة) والنقطة ذات القراءة الأمامية (مقدمة) التابعتين لنفس موقع الجهاز). كما ذكرنا آنفاً ، أن وضع الجهاز في منتصف للمسافة بين نقطتي القراءة الأمامية والقراءة الخلفية يساعد في التخلص من الخطأ الناشئ عن عدم أفقية خط النظر والخطأ الناشئ عن انكسار الأشعة(نتيجة مرورها عبر طبقات هوائية مختلفة الكثافة) والخطأ الناشئ عن انحناء سطح الأرض.

3 - من الضروري مسك للمسطرة بشكل رأسي وكذلك تطبيق صورة الشعيرات على صورة المسطرة تماماً بحيث لا يحصل اهتزاز في صورة الشعيرات عند تحريك العين.

4 - تأكد من صحة تدريجات للمسطرة قبل الاستعمال وخاصة قرب للمفاصل في حالة المساطر متعددة القطع . كذلك تأكد إن كانت للمسطرة مقلوبة (Inverted) أو معكولة .

- 5 - يجب التقيد بكتابة القراءات المختلفة في أماكنها الصحيحة والتأكد من صحتها بأن يرددها مسجل القراءات (Note Keeper or Booker) في أثناء كتابتها على سمع من الراصد وهو لا يزال في وضع الرصد على للنظار .
- 6 - حيث أن معظم أجهزة التسوية تحتوي بالإضافة إلى الشعرة الأفقية الأساسية على شعرتين ستاديتين أفقيتين (لتقدير المسافة بين الجهاز والمسطرة) لذا، يجب الانتباه إلى عدم أخذ القراءة على أحد هاتين الشعرتين وإنما على الشعرة الوسطى.
- 7 - تأكد من حساسية وفعالية فقاعة التسوية قبل البدء في العمل .
- 8 - من الضروري مراعاة أن تكون فقاعة التسوية وسط مجراها (أو بالأحرى أن يكون خط النظر أفقياً) عند رصد للمسطرة أو أخذ القراءة وذلك في كل نقطة من النقاط للمشغولة في عملية التسوية . وللتأكد من ذلك يجري التحقق من وضع الفقاعة قبل وبعد أخذ كل قراءة .
- 9 - لا تحرك الجهاز إلا بعد أخذ قراءة أمامية (على نقطة تحول أو نقطة نهاية للمشروع) ولا تحرك للمسطرة إلا بعد أخذ قراءة خلفية (عن علامة منسوب ثابتة أو نقطة تحول).
- 10 - في أعمال التسوية الدقيقة وفي الحالات التي تكون فيها خطوط النظر طويلة، ينصح باتباع طريقة التسوية العكسية إذا لم يكن بالإمكان وضع الجهاز في وسط للمسافة بين كل نقطتين مشمولتين في عملية التسوية .
- 11 - لا يجب بحال من الأحوال السماح باهتزاز جهاز التسوية أو حركة الركيزة (حامل الجهاز). من هنا يجب تثبيت الركيزة (Tripod) بشكل جيد وعدم الاحتكاك بالجهاز ولا بالركيزة أثناء عملية الرصد .

- 12 - يجب أن يكون موقع للمسطرة في نقاط التحول ثابتا بحيث لا ينخفض أو يعلو منصوب قاعدة للمسطرة عند تدويرها لتواجه الجهاز في موقعه الجديد، باختصار يجب اختيار مواقع مستوية وثابتة وصلبة لنقاط التحول .
- 13 - لا ينصح القيام بأعمال التسوية الدقيقة في الأيام التي يسودها ريح شديدة حيث تسبب هذه اهتزازات في للمسطرة والجهاز . في الحالات الاضطرارية ينصح بحماية الجهاز وباستعمال مسطرة قصيرة وكذلك القراءة على للمسطرة من مسافات قصيرة.
- 14 - في أوقات الحر الشديد ، ضع فوق الجهاز مظلة مناسبة ولا تأخذ قراءات على للمسطرة من مسافات بعيدة، وكلما حاول أن تكون القراءات على للمسطرة أكبر من 0.5m للتقليل من تأثير انكسار الأشعة. لا تجعل العدسة الشيعة في مواجهة الشمس إذ يصعب عندها الرصد .
- 15 - لتجنب تراكم قطرات الماء على العدستين الشيعة والعينية في فصل الشتاء ، يفضل القيام بأعمال التسوية أما في الأوقات الصحوه أو ، إذا كان لا بد من العمل في جو ماطر ، تلبس العدستين بمظلات أو أدوات واقية ووضع مظلة فوق الجهاز . إن أعمال الوقاية هذه تساعد على تحقيق الوضع في عملية الرصد.
- 16 - إذا كان مستخدم الجهاز حديث الخبرة ، ينصح بأخذ القراءة عند تقاطع للمسطرة مع كل من الشرعتين الستاديتين القصورتين الأفقيتين (الواقيتين أعلى وأسفل شعرة التسوية الوسطى الأفقية) بالإضافة إلى القراءة عند تقاطع للمسطرة مع شعرة التسوية (الشعرة الوسطى الأفقية). كتحقيق ، يجب أن يكون الفرق بين القراءتين على الشرعتين الأفقيتين الوسطى والعلوية مساويا للفرق بين القراءتين على الشرعتين الوسطى والسفلى ، أو أن تكون قراءة شعرة التسوية مساوية لنصف مجموع قراءتي الشرعتين الستاديتين العلوية والسفلية . على سبيل المثال، إذا كانت قراءة الشعرة الستادية العلوية 1.46 m وقراءة الشعرة الستادية السفلية 1.42 m فيجب أن تكون قراءة شعرة التسوية الوسطى الأفقية :

$$\frac{1.46 + 1.42}{2} = 1.44\text{m}$$

17 - تؤثر الشمس الحارة في مادة المسطرة وبالتالي في تدريجها كما تؤثر في فقاعة التسوية وفي انحناء سطح أنبوب التسوية للفلل أو الحاوي للفقاعة.

18 - في أعمال التسوية العادية وحيث يقتصر الأمر على مساحات محدودة ، لاداعي لأخذ انحناء الأرض واتكسار الأشعة بعين الاعتبار نظرا لصغر القيمة الناتجة عنهما.

19 - بعض أجهزة للساحة مزودة بدائرة لقياس الزاوية الأفقية التي يصنعها خط النظر مع خط مرجعي معين . إن هذا يساعد على تحديد مواقع النقاط التي يجري تعيين مناسبيتها. فالشعيرات الستادية تؤدي دور قياس للمسافات (بضرب الفرق بين قراءتي الشعرتين الستاديتين العليا والسفلى في ثابت محدد يتبع نوع الجهاز) بين الجهاز والمسطرة التي يجري تثبيتها في مختلف النقاط ، ومعرفة الزاوية الأفقية التي يصنعها خط النظر (ما بين الجهاز والمسطرة) مع خط مرجعي معين يمكن تحديد موقع للمسطرة أو النقطة التي تقف عليها المسطرة. على أي حال ، إن دقة أجهزة التسوية في قياس الزوايا الأفقية منخفضة (بحدود دقيقة واحدة) إذا ما قورنت بدقة أجهزة الثيودوليت التي قد تصل إلى جزء بسيط من الثانية وهذا بالطبع شيء متوقع فجهاز التسوية مصنوع بشكل خاص لخدمة أغراض قياس المناسيب وفروقا بينما الثيودوليت مصنوع بشكل خاص لقياس الزوايا الأفقية والرأسية .

20 - يفضل دائما أن تبدأ عملية التسوية بالقراءة على علامة منسوب ثابتة (معلومة الارتفاع) وتنتهي بالقراءة أيضا على علامة منسوب ثابتة .

21 - يجب التأكد من صحة علامة أو علامات المناسيب الثابتة المستعملة في عملية التسوية . كما يجب أن يكون الكروكي للوضع لعلامة المنسوب سهلا دقيقا كي لا يحصل التباس في التعرف عليها .

22 - إن أول قراءة يجب أن تدخل جدول التسوية هي خلفية وآخر قراءة ألمية .

٢٣ - يفضل التزود بالأدوات التالية إلى جانب للمسطرة وجهاز التسوية : شريط، شواخص ، شمعية ، مسامير ، لوتاد ، قضبان حديدية قصيرة (20-40 cm)، زوايا حديدية ، مطارق للثق ، دمان وطباشير ملونة ، دفتر مسطر يناسب أعمال التسوية ، أدوات رسم بسيطة ، أقلام ، وآلة حاسبة إلكترونية صغيرة.

24 - ينصح بتخصيص دفتر مناسب لأعمال التسوية يسطر بسطور أفقية وعمودية لتسجيل أرقام النقاط ومختلف القراءات اللازمة لمعرفة الارتفاعات النقاط والمسافات الأفقية بينها . إن الدفتر يسهل عملية التلوين ويساعد على تجنب الأخطاء الكتابية إلى حد كبير كما يعتبر سجلا يمكن الاحتفاظ به مستقبلا لأغراض التحقيق والاستعانة بما فيه من ملاحظات حقلية .

25 - إضافة إلى علامات للناسيب الرئيسة ذات الارتفاعات الدقيقة جدا هناك ثلاثة أشكال أخرى لعلامات للناسيب وهي :

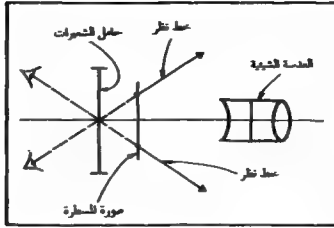
* علامات للناسيب الثانوية التي تنشأ بين النقاط الرئيسة وتكون ثابتة ودائمة أيضا . من المواقع التي تصلح لإنشاء مثل هذا النوع من النقاط أجنحة وجدران الممرات والجسور البارزة وأعمدة ملائيل الأبنية والأسوار . يراعى دائما أن تكون سطوح علامات للناسيب مستوية حتى لا يتغير منسوب قاعدة للمسطرة عندما يجري توجيه أو تدوير للمسطرة .

* علامات للناسيب العشوائية وهذه نقاط تفترض ارتفاعاتها بالنسبة لمستوى مرجعي وهي يستعان بها لقياس مناسيب النقاط المختلفة من مشاريع عملية محدودة وصغيرة .

* علامات للناسيب للوقت وهذه نقاط يجري قياس ارتفاعاتها في نهاية العمل اليومي حيث يستعان بها عند تكملة العمل في وقت لاحق . على كل حال يجب أن تحدد هذه النقاط بشكل جيد وعلى مواقع ثابتة .

- 26 - لا تنس فحص جهاز التسوية وضبطه قبل البدء بعملية قياس الارتفاعات .
- 27 - الانتباه والترتيب والتنظيم والوضوح وتوفير عناصر التحقيق هي أسس كل عمل متقن .
- 3-6-4 مصادر الأخطاء في أعمال التسوية ، [24م] [43م] [47م] [48م] [49م] [51م]
- من اللهام الأساسية التي يتوجب على المساح إتقانها معرفة مصادر الأخطاء في العمليات للمساحية ومن ثم تصحيحها . من بين مصادر الأخطاء الرئيسة في أعمال التسوية نذكر :
- 1 - عدم دقة الأجهزة المستخدمة في عمليات القياس كجهاز التسوية والمسطرة .
 - 2 - انحناء الأرض وانكسار الأشعة (Earth Curvature and Refraction) وخصاصة عندما تختلف مسافات القراءات الأمامية عن مسافات القراءات الخلفية. إن هذا الخطأ يظهر بوضوح عندما تكون أطوال خطوط النظر أو القياس طويلة حيث تراكم الأخطاء الصغيرة في النهاية .
 - 3 - التغيرات الكبيرة في درجات الحرارة نتيجة التقلبات الجوية وينشأ عن هذا تمدد أجزاء الأجهزة أو تقلصها وبالتالي خطأ في القراءة . كذلك فإن حر الشمس يؤثر في أجزاء الجهاز المختلفة بدرجات متفاوتة .
 - 4 - عدم أفقية أنبوب التسوية وبالتالي عدم أفقية خط النظر للجهاز .
 - 5 - عدم ثبات حامل الجهاز وما ينشأ عنه من اختلاف في منسوب خط النظر أثناء أخذ القراءات .
 - 6 - عدم شاقولية للمسطرة .
 - 7 - تبديل للمسطرة بأخرى أثناء عملية القياس (إذ ربما تضافتان في الدقة) .
 - 8 - وجود السراب حيث تحصل انعكاسات ضوئية يصعب عندها ملاحظة الهدف أو للمسطرة بوضوح مما يؤدي إلى خطأ في القراءة .

- 9 - تبديل راصد بأخر حيث كل راصد له أسلوبه الخاص في تقدير قراءة للسطرة وفي الحكم على وضع فقاعة التسوية في وسط يجرها .
- 10 - عدم الدقة في قراءة للسطرة أو القراءة في اتجاه خاطيء .
- 11 - عدم ثبات أو صلاية مواقع نقاط التحول .
- 12 - زوغان البصر أثناء القراءة .
- 13 - العمل في جوي سيء من حيث الطقس (رياح ، حرارة ، رطوبة ، ... الخ).
- 14 - التسجيل الخاطيء للقراءات في جدول التسوية .
- 15 - الضغط على الجهاز أو الاحتكاك به أو بالركيزة .
- 16 - العمل في حالة من التعب الشديد أو للرض وخاصة مرض أو تعب العيون .
- 17 - الإهمال وعدم الانتباه .
- 18 - عدم توفر الخبرة وكذلك عدم وضوح الغاية ودرجة الدقة المطلوبة من العملية للساحية .
- 19 - استخلم علامة منسوب خاطئة أو غير دقيقة أو قلقة متغيرة .
- 20 - عدم الدقة في التركيز البؤري للعدسة الشبكية حيث ينشأ عن ذلك اهتزاز أو حركة ظاهرية في صورة الشعيرات بالنسبة لصورة للسطرة كلما تحركت عين الراصد للأعلى وللأسفل . وعليه لن تكون هناك قراءة ثابتة على للسطرة، شكل (6 - 34) .
- 21 - تبديل القراءات الخلفية بالأمامية أو العكس .
- 22 - عدم الدقة في العمليات الحسابية .



شكل 6 - 34 التركيز البؤري الخطي للعلامة الشبكية

5-11-3-6 التحقق من صحة المناسيب :

يمكن إتباع أحد الأسلوبين التاليين لغايات التحقق من صحة للناسيب المحسوبة بطريقة ارتفاع الجهاز (Height of Instrument) أو بطريقة الطول والانخفاض (Rise and Fall Method) :

- 1 - نتابع العمل بعد الانتهاء من أخذ القراءات على مجموعة النقاط المراد تعيين مناسيبها إلى أن نصل إلى علامة منسوب ثانية جديدة وقريبة من منطقة العمل فنأخذ عنها قراءة أمامية (لأنها ستكون آخر نقطة مشمولة في عملية التسوية) ونحسب منسوبها . الآن نقارن بين للنسوب المحسوب والنسوب للعلوم لعلامة للنسوب الجديدة هذه . إن الفرق بين النسولين يعبر عن دقة للناسيب المحسوبة ويسموي أيضا بمقدار الخطأ في عملية التسوية .

ملحوظة :

إن عدم تطابق النسوب المحسوب مع النسوب للعلوم لعلامة للنسوب للمختارة لعملية التحقق لا يعني بالضرورة وجود خطأ في عملية قياس للناسيب إذ ربما يكون قد حصل هبوط في موقع علامة للنسوب الأولى أو في موقع علامة للنسوب الثانية (المختارة). كذلك قد تكون للناسيب للعطاة لثابتين العلامتين الثابتين غير صحيحة أو دقيقة .

2 - تنابع عملية التسوية بعد الانتهاء من النقطة الأخيرة من مجموعة النقاط للراد تميم لارتفاعا إلى أن تعود بأقصر الطرق إلى نفس علامة للنسوب التي ابتدأنا منها العمل. يجمع القراءات الخلفية والقراءات الأمامية من بداية العمل حتى نهايته وبحسب الفرق بين مجموع القراءات الخلفية ومجموع القراءات الأمامية . إن هذا الفرق يعبر عن درجة الدقة في عملية التسوية . لاحظ أنه سيكون لعلامة للنسوب هذه قراءتان ، غلفية عند بداية العمل وأمامية عند نهاية العمل .

ملحوظات :

• إذا تطابق للنسوب للعلوم مع النسوب المحسوب لعلامة للنسوب الثابتة (Bench Mark) فيمن هذا أنه لا يوجد خطأ .

• إن مقدار الاختلاف بين النسوب المحسوب والنسوب للعلوم (مقدار الفرق بين مجموع القراءات الخلفية ومجموع القراءات الأمامية في حالة الطريقة 2) يساوي مقدار الخطأ في عملية التسوية للنجزة .

• للوصول إلى علامة منسوب ثانية (لفرض التحقق) أو للعودة إلى علامة للنسوب الأولى، قد يلزم اختيار نقطة تحول جديدة أو أكثر وذلك بسبب طول المسافة أو صعوبة منطقة العمل . في هذه الحالة تكون المسافة بين الجهاز والمسطرة فوق نقطة التحول للمختارة طويلة نسبيا ولكن تراعى دائما أن يكون موقع الجهاز في منتصف المسافة تقريبا بين كل زوج متال من نقاط التحول أو بالأحرى في منتصف المسافة بين النقطة ذات القراءة الخلفية والنقطة ذات القراءة الأمامية .

• في عملية التحقيق، سواء بالاستعانة بعلامة منسوب ثانية قريبة أو بالعودة إلى علامة للنسوب الأولى نفسها، لا يحتاج الأمر إلى تعيين مناسيب نقاط خاصة محددة أو معرفة تضاريس الأرض وإنما يتطلب الأمر فقط تعيين مناسيب نقاط تحول مناسبة لفرض الوصول بسرعة إلى علامة للنسوب الثانية أو علامة للنسوب الأولى. لذلك تكون القراءات الضرورية لعملية التحقيق أمامية وخلفية فقط. ويطلق عليها بالقراءات أو المناسيب الطائرة (Flying Levels).

• يفضل اعتماد طريقة التحقيق الأولى (1) بدلا من الثانية خصوصا إذا توفرت علامة منسوب على مسافة قريباً نسبياً من موقع لمائة العمل.

6-11-3-6 الخطأ المسموح به في أعمال التسوية ، [33م] [46م] [52م]

سنميز هنا بين نوعين من التسوية ، التسوية العادية (Ordinary Levelling) والتسوية الدقيقة (Precise Levelling).

1 - التسوية العادية :

يقع الخطأ المسموح به في أعمال التسوية العادية ضمن المجال :

$$\pm 12\sqrt{k} \text{ mm} - \pm 25\sqrt{k} \text{ mm}$$

حيث K ترمز إلى المسافة الكلية الداخلة في عملية التسوية ، بالكيلومتر.

2 - التسوية الدقيقة :

يقع الخطأ المسموح به في أعمال التسوية الدقيقة ضمن المجال :

$$\pm 4\sqrt{k} \text{ mm} - \pm 12\sqrt{k} \text{ mm}$$

ملحوظات :

• إن مجال الخطأ المسموح به للذكور أعلاه ، يتبع نوع الجهاز المستخدم وطبيعة تضاريس سطح الأرض التي يجري فوقها القياس والغاية من عملية التسوية أو بالأحرى درجة الدقة المطلوبة .

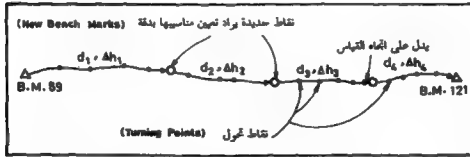
- في أعمال التسوية العادية ، خصوصا في الحالات التي تكون فيها أعمال التسوية معصورة ضمن مساحات صغيرة ، يمكن أيضا إتباع المجال التالي للخطأ المسموح به:

$$\pm 5\sqrt{n} \text{ mm} - \pm 10\sqrt{n} \text{ mm}$$

حيث n ترمز إلى عدد المحطات التي يحتلها الجهاز خلال عملية القياس لكافة النقاط للمشحولة في عملية التسوية (بما فيها النقاط المتعلقة بعملية التحقق).

- إذا تبين أن الخطأ يقع ضمن المجال المسموح به فيجري توزيعه على للناسيب المحسوبة لنقاط التحول بشكل يتناسب مع للسافات (كأحد الحلول) وذلك على النحو التالي:

1 - عندما تكون للناسيب الجديدة (المراد تعيينها) واقعة بين علامتي منسوب ثابتتين ومحددتين في الطبيعة وذات مناسيب معلومة بدقة ، شكل (35-6) ، عندها نكتب:



شكل 6 - 35

فرق للنسوب (ΔH) المحسوب (أو للقياس) بين علامتي للنسوب عند بداية ونهاية خط للمشروع أو العمل - الفرق بين مجموع القراءات الخلفية ومجموع القراءات الأمامية أي :

$$\text{Measured Elevation Difference} = (\sum(B.S)) - (\sum(F.S)) \dots\dots\dots (32-6)$$

خطاً التقفل (مجموع الخطأ الحاصل في عملية التسوية للنقطة - Closure Error) ، يساوي فرق للنسوب المحسوب أو للقياس - فرق للنسوب للعلوم ، أي :

$$\text{Closure Error } (\varepsilon) = (\text{Measured } \Delta H) - (\text{Known } \Delta H) \dots\dots\dots (33-6)$$

أما مقدار التصحيح للمناسيب المحسوبة أو للقياس ، شكل (35-6) ، فيساوي :

$$\text{Correction for } \Delta h_i = \frac{d_i}{\sum d_i} (-\varepsilon) \dots\dots\dots (34-6)$$

كذلك يمكن أيضاً التصحيح بإحدى الطريقتين التاليتين :-

1 - بالتساوي وذلك بقسمة الخطأ على عدد الأضلاع ثم يجري تصحيح فرق الارتفاع المحسوب أو للقياس (ΔH) لكل ضلع بنسب القدر ، أي :

$$\text{Correction for } \Delta h_i = \left(\frac{-\varepsilon}{n} \right) \dots\dots\dots (35-6)$$

2 - التوزيع بشكل يتناسب مع ناتج قسمة القيمة المطلقة لفرق الارتفاع المحسوب بين نهايتي كل ضلع على مجموع القيم المطلقة لفرق الارتفاعات الجزئية المحسوبة ، أي :

$$\text{Correction for } \Delta h_i = \frac{|\Delta h_i|}{\sum |\Delta h_i|} (-\varepsilon) \dots\dots\dots (36-6)$$

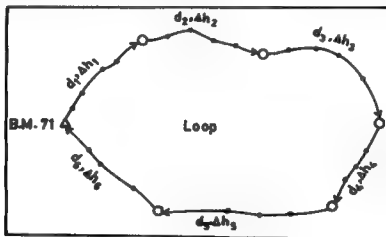
ب - عندما تكون للناسيب الجديدة واقعة على خط مغلق ، أي تبديء وتنتهي بعلامة منسوب معلومة وحيدة (Loop) ، شكل (6-36) ، فيجب عندها تحقيق الشرط التالي :

$$\sum \Delta h_i = 0 \dots\dots\dots(37-6)$$

$$\text{Correction for } \Delta h_i = \frac{d_i}{\sum d_i} (-\varepsilon) \dots\dots\dots(38-6)$$

إن خطأ القفل هنا (ε) يساوي المجموع الجبري لفروق الارتفاعات للقياسات على كامل الخط المغلق أي يساوي $(\sum \Delta h_i)$.

إذا تعدى الخطأ المجال للسوح فيجب إعادة القياسات بطريقة ووسائل أكثر دقة وإذا كان الخطأ صغيراً ولا يؤثر في مناسيب النقاط المختلفة فيمكن إهماله وعدم توزيعه .



شكل 6 - 36

مثال 6 - 12 :

مستعينا بالجدول رقم (6-12) ، للطلوب إنجاز العمليات التالية ، علماً بأن ثابت الجهاز (الثابت المستادي أو التاكيمتري) يساوي (50) :

أ - ارسم كروكي بين أرقام النقاط الواردة في الجدول (6 - 12) ورموز فسروق الارتفاعات (Δh) والمسافات (d) بين أزواج النقاط للتجاورة جميعها .

ب - معلومة منسوب النقطة (B.M.72) للسواوي 927.645m ومنسوب النقطة (B.M.74) للسواوي 925.854m ، وبافتراض أن خطأ القفل يقع ضمن المجال المسموح به ، حدد :

للمنسوب للمصحح النهائي لكل من النقاط الجديدة (N1, N2 , N3) موضحا جميع الحسابات بشكل جيد ومنظما النتائج وطرق الحساب (ما أمكن) في جداول مناسبة .

ج - حدد مقدار خطأ القفل الأعظمي (في المنسوب) للسماح به إذا كانت المواصفات تنص على تسوية دقيقة من للرتبة الثانية (Second Order) صنف أول (Class 1).

د - ما هو مقدار الفرق الأعظمي بين مجموع مسافات القراءات الأمامية ومجموع مسافات القراءات الخلفية ؟ هل يسمح بمقدار هذا الفرق لهذا النوع من المواصفات الواردة في البند (ج) أعلاه ؟

هـ - ما هو مقدار الفرق الأعظمي بين مسافة القراءة الأمامية ومسافة القراءة الخلفية عند كل موقع للجهاز ؟ وهل يسمح به ؟

و - ماهو مقدار طول خط النظر الأعظمي بين الجهاز والمسطرة ؟ وهل يسمح به ؟

ملحوظة : يمكن الرجوع إلى الجدول (6-10) بخصوص معايير الدقة .

جدول رقم 6 - 12 مثال رقم 6 - 12

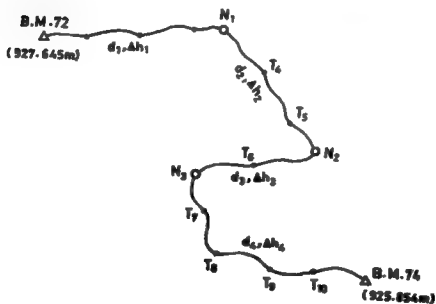
القراءة الخلفية B.S. (m)	القراءة الأمامية F.S. (m)
B.M. 72	T₁
1.784	3.519
1.138	2.827
0.488	2.135
T₁	T₂
3.447	3.210
2.733	2.464
2.018	1.716
T₂	T₃
3.602	3.622
2.821	2.883
2.042	2.148
T₃	N₁
2.446	2.210
1.732	1.464
1.017	0.716
N₁	T₄
1.440	2.621
0.731	1.882
0.016	1.147

القراءة الخلفية B.S	القراءة الأمامية F.S.
(m)	(m)
T_4	T_5
2.785	2.517
2.139	1.825
1.489	1.133
T_5	N_2
1.682	1.518
1.036	0.826
0.386	0.134
N_1	T_6
3.785	1.484
3.139	0.838
2.489	0.188
T_6	N_3
3.085	3.484
2.439	2.838
1.789	2.188
N_2	T_7
2.083	2.485
1.437	1.839
0.787	1.189
T_7	T_8
2.991	3.684
2.637	3.039
2.285	2.389

القراءة الخلفية B.S	القراءة الأمامية F.S
(m)	(m)
T_1	T_2
2.246	3.810
1.532	3.064
0.817	2.316
T_9	T_{10}
3.150	2.140
2.751	1.741
2.352	1.342
T_{10}	B.M. 74
1.130	1.640
0.731	1.241
0.332	0.842

الحل :

- ١



ب - من الشبكة للوضحة في البند (أ) أعلاه ، لدينا ، انظر الجدول (6-13) :

$$\Delta h_1 = \text{R.L. of Last Point} - \text{R.L. of First Point}$$

$$\Delta h_1 = \sum (\text{Back Sightings}) - \sum (\text{Fore Sightings})$$

$$\Delta h_1 = (1.137 + 2.733 + 2.822 + 1.732) - (2.827 + 2.463 + 2.884 + 1.463) = -1.213 \text{ m}$$

$$\Delta h_2 = (0.729 + 2.138 + 1.035) - (1.883 + 1.825 + 0.826) = -0.632 \text{ m}$$

$$\Delta h_3 = (3.138 + 2.438) - (0.837 + 2.837) = +1.902 \text{ m}$$

$$\Delta h_4 = (1.436 + 2.638 + 1.532 + 2.751 + 0.731) - (1.838 + 3.037 + 3.063 + 1.741 + 1.241) = -1.832 \text{ m}$$

$$d_1 = (1.296 + 1.384 + 1.429 + 1.494 + 1.560 + 1.474 + 1.429 + 1.494) \times 50 = 578 \text{ m}$$

$$d_2 = (1.424 + 1.474 + 1.296 + 1.384 + 1.296 + 1.384) \times 50 = 412.9 \text{ m}$$

$$d_3 = (1.296 + 1.296 + 1.296 + 1.296) \times 50 = 259.2 \text{ m}$$

$$d_4 = (1.296 + 1.296 + 0.706 + 1.295 + 1.429 + 1.494 + 0.798 + 0.798 + 0.798 + 0.798) = 535.4 \text{ m}$$

ومن الجدول (6-14) :

$$\text{Computed Elevation for B.M. 74} = (927.645) - 1.775 = 925.870 \text{ m}$$

$$\text{Known Elevation for B.M. 74} = 925.854 \text{ m}$$

$$\text{Closure Error } (\epsilon) = \text{Comp. } (\Delta H) - \text{Known } (\Delta H)$$

$$(\epsilon) = 925.870 - 925.854 = 0.016 \text{ m}$$

جدول رقم 13-6 - مثال رقم 6 - 12

B.S. القراءة الخلفية			F.S. القراءة الأمامية		
القراءة على الشعيرات	معدل القراءات الثلاث	الفرق المتبادي	القراءة على الشعيرات	القراءة للترسطة	فرق المتبادي
Hairs Reading	Mean Reading	Stadia Interval	Hairs Reading	Mean Reading	Stadia Interval
B.M. 72			T₁		
1.784	1.137	0.646	3.519	2.827	0.692
1.138		<u>0.650</u>	2.827		<u>0.692</u>
0.488		1.296	2.135		1.384
T₁			T₂		
3.447	2.733	0.714	3.210	2.463	0.746
2.733		<u>0.715</u>	2.464		<u>0.748</u>
2.018		1.429	1.716		1.494
T₂			T₃		
3.602	2.822	0.781	3.622	2.884	0.739
2.821		<u>0.779</u>	2.833		<u>0.735</u>
2.042		1.560	2.148		1.474
T₃			N₁		
2.446	1.732	0.714	2.210	1.463	0.746
0.732		<u>0.715</u>	1.464		<u>0.748</u>
1.017		1.429	0.716		1.494
N₁			T₄		
1.440	0.729	0.709	2.621	1.883	0.739
0.731		<u>0.715</u>	1.882		<u>0.735</u>
0.016		1.424	1.147		1.474
T₄			T₅		
2.785	2.138	0.646	2.517	1.825	0.692
2.139		<u>0.650</u>	1.825		<u>0.692</u>
1.489		1.296	1.133		1.384

B.S. القراءة الخلفية			F.S. القراءة الأمامية		
القراءة على الشعيرات Hairs Reading	معدل القراءات الثلاث Mean Reading	الفرق الستادي Stadia Interval	القراءة على الشعيرات Hairs Reading	القراءة للمتوسطة Mean Reading	فرق الستادي Stadia Interval
T₁			N₂		
1.682	1.035	0.646	1.518	0.826	0.692
1.036		<u>0.650</u>	0.826		<u>0.692</u>
0.386		1.296	0.134		1.384
N₂			T₄		
3.785	3.138	0.646	1.484	0.837	0.646
3.139		<u>0.650</u>	0.838		<u>0.650</u>
2.489		1.296	0.188		1.296
T₄			N₁		
3.085	2.438	0.646	3.484	2.837	0.646
2.439		<u>0.650</u>	2.838		<u>0.650</u>
1.789		1.296	2.188		1.296
N₁			T₁		
2.083	1.436	0.646	2.485	1.838	0.646
1.437		<u>0.650</u>	1.839		<u>0.650</u>
0.787		1.296	1.189		1.296
T₂			T₃		
2.991	2.638	0.354	3.684	3.037	0.645
2.637		<u>0.352</u>	3.039		<u>0.650</u>
2.285		0.706	2.389		1.295
T₃			T₂		
2.246	1.532	0.714	3.810	3.063	0.746
1.532		<u>0.715</u>	3.064		<u>0.748</u>
0.817		1.429	2.316		1.494
T₂			T_{3B}		
3.150	2.751	0.399	2.140	1.741	0.399
2.751		<u>0.399</u>	1.741		<u>0.399</u>
2.352		0.798	1.342		0.798
T_{3B}			BM. 74		
1.130	0.731	0.399	1.640	1.241	0.399
0.731		<u>0.399</u>	1.241		<u>0.399</u>
0.332		0.798	0.842		0.798

جدول رقم 6 - 14 مثال رقم 6 - 12

رقم النقطة Point No.	فرق الارتفاع Measured Δh (m)	مسافات مسطحة التفر (m)	التصحیح Correction (m)	فرق الارتفاع للتصحیح Adjusted Δh (m)	للتسوية للتصحیح Elevation (m)
BM . 72	-	-	-	-	927.645
N ₁ - -	- 1.213	578	- 0.005	- 1.218	926.427
N ₂ - -	- 0.632	412.9	-0.004	-0.636	925.791
N ₃ - -	+ 1.902	259.2	- 0.002	+ 1.900	927.691
BM. 74	- 1.832	535.4	- 0.005	- 1.837	925.854
Σ=	- 1.775	1785.5	- 0.016	- 1.91	

ج - خطأ القفل الأعظمي في التسوية :

من الجدول (6-10) وملاحظة مواصفات للمرتبة الثانية ، صنف أول ، :

$$\text{Max. Closure Error} = 6\text{mm} \sqrt{k} = 6\text{mm} \sqrt{1875} = 8\text{mm}$$

د - مجموع مسافات القراءات الخلفية = 50×17.349

بمجموع مسافات القراءات الأمامية = 50×18.391

الفرق الأعظمي بين المجموعين يساوي :

$$(18.391 - 17.349) \times 50 = 52.1 \text{ m}$$

وهذا وفق الجدول (6 - 10) والمرتبة الثانية صنف أول غير مسروح به .

هـ - الفرق الأعظمي بين مسافة القراءة الأمامية ومسافة القراءة الخلفية هو الحاصل بسبب موقع الجهاز بين نقطتي التحول (T_7) و (T_8) حيث القراءة الخلفية على (T_7) تساوي (0.706) بينما الفرق التصادي على (T_8) يساوي (1.295) وعليه يكون الفرق الأعظمي بين اللسطين مساويا :

$$(1.295 - 0.706) \times 50 = 29.45 \text{ m}$$

وهذا غير مسموح به حيث يتجاوز (5 m) ، لاحظ جدول المواصفات (10-6) للمرتبة الثانية ، صنف أول .

و - طول خط النظر الأعظمي بين الجهاز والسطرة هو الخاص بالقراءة الخلفية على نقطة التحول (T_2) ومقداره :

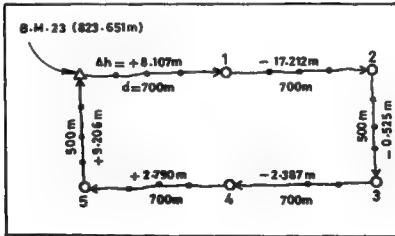
$$1.560 \times 50 = 78 \text{ m}$$

وهذا خارج المجال للسماح به ، (60 m) للمرتبة الثانية صنف أول .

مثال رقم 6 - 13 ، [33م] [51م]

بالاستعانة بالشكل (6 - 37) احسب للناسيب الصحيحة للنقاط الجديدة

(1,2,3,4,5)



شكل 6 - 37

الحل :

انظر كافة الخطوات والأرقام الواردة في الجدول رقم (6 - 15) التالي حيث يسهل معرفة كيف تم حساب مختلف القيم المطلوبة مع ملاحظة أن الاختلاف البسيط الحاصل بعد إدخال التصحيحات اللازمة على مختلف القيم يعود إلى عمليات التقريب الحسابي وهو هنا (0.001 m).

جدول رقم 6 - 15 مثال رقم 6 - 13

رقم النقطة Point No.	فرق الارتفاع Measured Δh (m)	التصحيح Correction (m)	فرق الارتفاع للمصحح Adjusted Δh (m)	النسب للمصحح Elevation (m)
RM . 23	-	-	-	823.651
1	+ 8.107	+ 0.004	+ 8.111	831.762
	- - -	- -	- - -	
2	- 17.212	+ 0.004	- 17.208	814.554
	- - -	- -	- - -	
3	- 0.525	+ 0.003	- 0.522	814.032
	- - -	- -	- - -	
4	- 2.387	+ 0.004	- 2.383	811.649
	- - -	- -	- - -	
5	+ 2.790	+ 0.004	+ 2.794	814.443
	- - -	- -	- - -	
	+ 9.206	+ 0.003	+ 9.209	823.652
B.M. 23				
	$\Sigma \Delta h = -0.021$	+ 0.022	+ 0.001	

6-3-12 العلامات المظلة لنقاط المختلطات والمضلعات في الطبيعة :

(Survey Monuments , Station Markers)

من الضروري التأكد من ثبات ودعومة العلامات التي يجري اختيارها أو تجسيدها وإظهارها في الطبيعة كنقاط مثلثات أو مضلعات . ذلك بالنظر لأهمية الأعمال للساحية الأخرى التي ستسند إلى هذه النقاط . إن كل خطأ ناتج عن إزاحة في مواقع هذه النقاط أو عدم الدقة في تمثيلها من غيرها سوف ينتقل حتما إلى كل عمل مساحي لاحق يصار إلى ربطه بأي من النقاط المزاحة أو الخاطئة . من أجل ذلك ينصح بأخذ للملاحظات التالية بعين الاعتبار عند إنشاء شبكات للمثلثات والمضلعات ومختلف النقاط للساحية للرجعية .

1 - أن تكون مواقع هذه النقاط مشرفة بحيث يمكن رؤية أكبر عدد من النقاط من أي منها .

2 - أن تكون إما نقطة من معلم بارز هام (برج ، مسجد ، كنيسة ... الخ) أو أن تنشأ في أرض صلبة مرتفعة بعيدة ما أمكن عن مواقع حركة الآليات الثقيلة أو التيارات المائية أو الانزلاقات الناشئة عن ضعف في التربة أو قوى دفع جانبية ورأسية معينة (تسبب في حدوث انهيارات وإزاحات في اتجاهات مختلفة) . من بين العلامات التي يمكن اختيارها أو غرسها نورد الأمثلة التالية :

أ - مسمار أو برغي (Bolt) من برج (Tower) عالي وثابت .

ب - وتد فولاذي (Steel Peg) عاطا بما يحويه .

ج - مسمار أو برغي مفروس في حائط بناء (House Wall) .

د - رأس بناء غروطي أو هرمي (أعلى الكنيسة على سبيل المثال،

Church Spire أو نقطة محددة من هلال معبدة للمسجد أو نقطة ثابتة مميزة

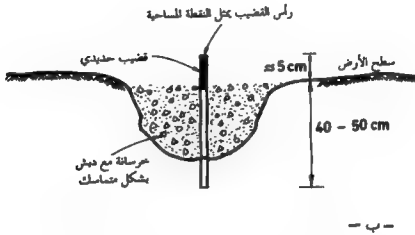
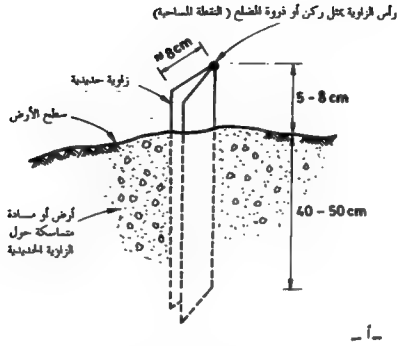
من رأس برج ضخم عالي أو برج اتصالات ... الخ) .

هـ - زاوية حديدية بطول (50 - 80 cm) لا يظهر منها فوق سطح الأرض أكثر من 5 إلى 8 سم محاطة بما يحميها من للوثرات الخارجية من حولها (انتفجارات في مواقع قريبة، امتزازات ناجمة عن حركة آليات أو مياه أو تربة كما ذكرنا آنفاً) بالإضافة إلى آثار الصقيع (Frost) ، شكل (6-38).

و - حفرة بعمق وقطر (40 سم) إلى (50 سم) مملوءة بالخرسانة يتوسطها قضيب حديدي أو زاوية حديدية أو علامة معدنية مناسبة ، شكل 6 - 39 .

ز - اسطوانة خرسانية قطر (15سم) إلى (20 سم) وارتفاع (30 سم) إلى (40 سم) توضع في حفرة مناسبة وترك جوانبها.

ج - مسمار قطر (6 سم) أو أكبر بطول (15 سم) تقريبا يفرس في شق صخري ، أو في موقع آخر مناسب ، شكل 6-40 .

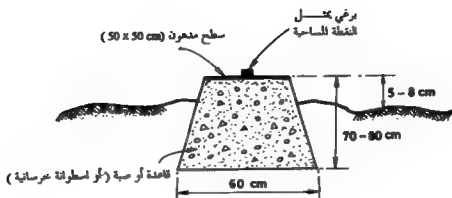


شكل 6-38 - أ - نموذج لزاوية حديدية كعلامة لنقطة مساحية
(Survey Marker) (منظر جانبي)

ب - علامة مساحية على شكل قضيبي حديدي

(أو زاوية حديدية أو ماسورة فولاذية ... الخ)

مفروس في صبة خرسانية ضمن حفرة في الأرض. (مقطع)



شكل 6-39 علامة مساحية على شكل قاعدة خرسانية
مفروس في سطحها برقي أو قرص مع علامة + في وسطه
يمثل النقطة المساحية ، (مقطع).



شكل 6-40 علاقة مساحية على شكل مسار (أو زاوية حديدية)
مفروس في شق صخري ، (مقطع)

ملاحظة :

إن الغرض من إنشاء مضلع ما يحدّد مدى الدقومة اللازمة للعلامات للمساحية التي ستحدّد أركان المضلع وبالتالي تحدّد شكل ومواصفات هذه العلامات ومدى صلاحيتها الدائمة (Permanently Oriented) أو للوقت (Temporarily Marked) . على سبيل المثال، لاجابة لوضع مواصفات لعلامات دائمة في حالة إنشاء مضلعات لخدمة مشاريع هندسية صغيرة لا تتجاوز فترة تنفيذها السنة الواحدة أو حتى بضعة شهور. في مثل هذه المشاريع ذات الأهمية الضئيلة والحجم الصغير وفترة الإنشاء القصيرة قد يكتفى بأوتاد خشبية مدببة (Hubs or Sharpened Wood Stakes) بمقطع (5 × 5 cm) تقريباً وطول (40 cm إلى 50 cm) يندق في رأسه مسمار تكون طبعته بمثابة النقطة المثلثة لركن المضلع. في حالة الحاجة إلى علامات أكثر دقومة لمشاريع أكبر نسبياً ، يمكن استخدام اللواصر الحديدية (Iron Pipes) والقضبان الفولاذية (Steel Rods) والأوتاد الخشبية الثقيلة (Heavy Wood Hubs) . كذلك يمكن استخدام علامات على شكل نقر (Chisel) على السطوح الخرسانية ، وغرس مسامير ضمن أقراص معدنية (Shiners) تثبت على السطوح الأسفلتية (Bituminous Surfaces) . بخصوص العلامات الدائمة، وحيث متطلبات الدقة والدقومة أساسية والحاجة إلى استخدامها كمرجعية دائمة للإحداثيات قائمة ، لابدّ من استخدام علامات قوية جداً . على سبيل المثال ، أقراص برونزية دائرية (Circular Bronze Tablets) ذات جذع (Shank) يجري غرسها (تثبيتها) ضمن سطح صخري ثابت مستقر أو عمود خرساني أو جدار حجري .. الخ. يجدر بالذكر أنه يتوفر في الأسواق الكثير من العلامات المناسبة وللتعددة المواصفات والأغراض التي يمكن استخدامها كعلامات دائمة أو متوسطة الدقومة أو مؤقتة وفقاً لطبيعة للمشروع الحاجة المستقبلية كما ذكرنا آنفاً .

3-6 العدد اللازم لإنجاز القياسات الميدانية الخاصة بالتضلع (المضلعات أو

المسالك):

يحدد العدد اللازم من للمساحين والمساحين للمساعدين لإنجاز أعمال التضلع

(مساحة للمسالك أو المضلعات Traverse) على عدة عوامل ، أهمها :

1 - نوع الأجهزة المستخدمة في قياسات الزوايا والمسافات ، هل هي بصرية تقليدية (في حالة قياس الزوايا) وأشرطة (في حالة قياس المسافات) أم إلكترونية حديثة لقياس الزوايا والمسافات ؟

2 - طبيعة ومدى العوائق التي قد تعترض أعمال القياس الميداني من غابات (أشجار كثيفة وأودية وجبال وميول كبيرة وأرض وعرة ... الخ).

3 - مدى الدقة المطلوبة .

4 - عامل الزمن أو بالأحرى الوقت المخصص لإنجاز العمل الميداني وما يتبعه من أعمال تحقق وتكملة (Checking and Completion) .

لنأخذ الحالتين التاليتين ، الحالة التي تستخدم فيها أجهزة بصرية لقياس الزوايا وأشرطة معدنية لقياس المسافات ، والحالة التي تستخدم فيها الأجهزة الإلكترونية . بالنسبة للحالة الأولى يجري تقسيم فريق المساحة إلى مجموعتين إحداهما لقياس الزوايا والأخرى لقياس المسافات وكل مجموعة تضم إثنان على الأقل (الحد الأدنى) ويفصل ثلاثة أشخاص وذلك في غياب العوائق الطبوغرافية وقسوة الشروط الجوية . فإن وجدت هذه العوائق فرما احتاج الأمر إلى أربعة أو خمسة أشخاص للمجموعة الواحدة . وبالنسبة للحالة الثانية (استخدام الأجهزة الإلكترونية) فيكتفى عادة بإثنين فقط وذلك في ظل شروط قياس مثالية ، إحداهما للعمل على الجهاز القاس للزوايا (التيودوليت) والجهاز القاس للمسافات (المستومات EDM) معا (أحيانا يكونان وحدة واحدة أو يمكن جمعهما معا كجهاز المحطة الشاملة (Total Station) بالإضافة إلى عملية التلوين (أي للقياس والتلوين معا) أما الشخص الثاني فيخصص للماكس . غير أنه من المفضل أن يتكون الفريق من ثلاثة أشخاص ، واحد لقياس الزوايا والمسافات وواحد كمنون للمعلومات (Notekeeper) والثالث للتنقل بالماكس (To Set up Reflector Targets) . أما في ظل شروط قياس صعبة كوجود الغابات الكثيفة والعوائق الأخرى فإن الأمر سيحتاج إلى شخص أو رعا إلى شخصين إضافيين لتأمين الرؤية بين المحطتين والذي يستلزم قطع بعض الأغصان والقيام بأعمال أخرى .

6-3-14 برنامج مشروع مضمّنات :

لغايات ترسيخ للمعلومات النظرية تقترح إنجاز للمشروع التالي بشقيه النظري والعملية.

أولاً : العمل الميداني :

1 - اختيار الموقع :

يجري اختيار موقع مناسب بحيث يشمل على معالم وتفاصيل كالأبنية والطرق والمساحات والحدائق ... الخ ،

انظر الأشكال من (41-6) إلى (47-6) ولاحظ تنوعها من حيث خطوط ونقاط البداية والنهاية وكذلك من حيث اتجاه التقييم واتجاه قياس الزوايا .

2 - اختيار مواقع رؤوس المضلع

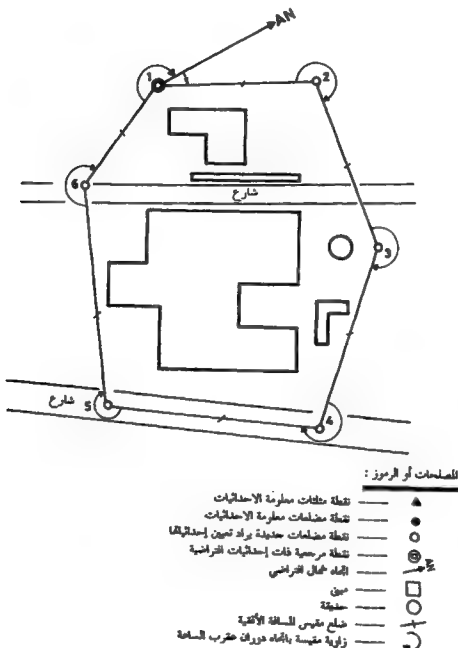
تكون في مواقع مناسبة ، أي مكشوفة وثابتة وبعيدة ما أمكن عن الحركة وأسباب الإزاحة أو الاقتلاع وقرية ما أمكن من المعالم والتفاصيل، انظر الشكل (41-6) .

3 - غرس علامات مناسبة (فضبان حديدية قطر 12 سم أو أوتاد فولاذية أو اسطوانات خرسانية قطر 15-20 سم يعلو سطحها صفيحة معدنية أبعاد 4x4 سم في وسطها علامة + محفورة لتدل على موقع النقطة بدقة) في مواقع رؤوس المضلع المختارة لتحسينها في الطبيعة .

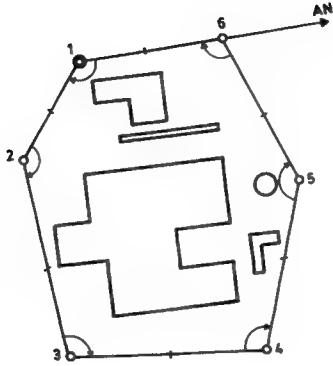
4 - ترقيم رؤوس المضلعات بأرقام متسلسلة (1 , 2 , 3 ,) باتجاه دوران عقرب الساعة (يمكن الترقيم باتجاه معاكس أيضاً) ، شكل (41-6) وشكل (42-6).

5 - عمل كروكي لكل رأس من رؤوس المضلع بحيث تقلس مسافات و/أو زوايا لغايات تحديد مواقع معلمين رئيسيين على الأقل (أو وتدين على الأقل مغروسين جيداً) بموار كل رأس . تهدف هذه القياسات إلى تمكين للساح من إعادة

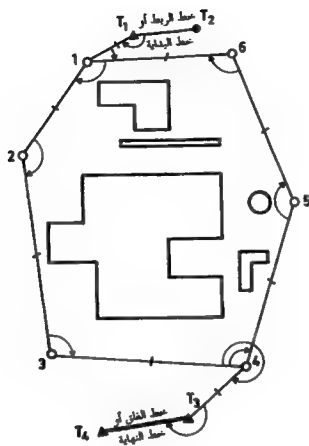
علامات الرؤوس إلى مواقعها بدقة عند حدوث إزاحة أو اقتلاع لها مستقبلاً ،
انظر الأشكال (13-3) ، (15-3) ، (16-3) ، (17-3) .



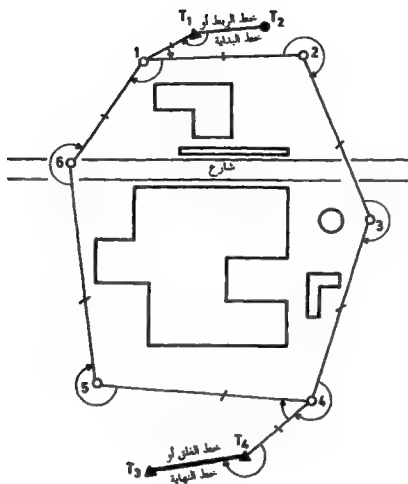
شكل 6-41 مضلع حلقي "ضعيف" بإحداثيات نسبية محلية



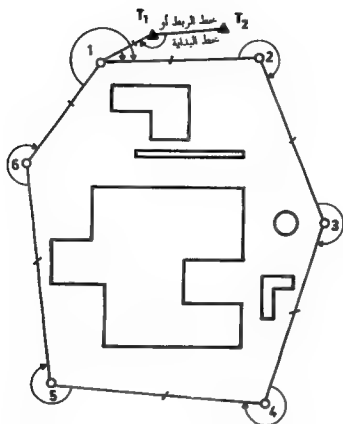
شكل 6- 43 مضلع حلقي " ضعيف " بإحداثيات نسبية محلية



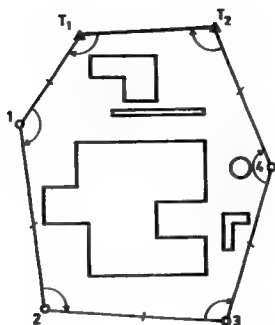
شكل 6- 44 مضلع حلقي " قوي " بإحداثيات مطلقة



شكل 6 - 45 مضلع حلقي "قوي بأحاديات مطلقة"



شكل 6- 46 مضلع حلقي " ضعيف " بإحداثيات مطلقة



شكل 6-47 مضلع حلقي " ضعيف " بإحداثيات مطلقة

6 - البحث عن أقرب نقطتين معلومتين الإحداثيات (نقاط مطلقات أو مضلعات قديمة) لموقع بداية للضلع (أو للمشروع) وعن أقرب نقطتين لموقع نهاية للضلع . الزوج الأول من النقاط للمعلومة لفايات الربط والزوج الثاني لفايات الغلق (أي التلقيق والتحقق) . فإن لم يتوفر مثل هذه النقاط (للربط والغلق) الأربع بل نقطتان للربط فقط ، عندها يجري استخدامهما في الربط والغلق معاً. وفي الحالات التي لا تتوفر فيها نقاط معلومة على الإطلاق (أو بعيدة جداً بحيث يصعب ، من حيث الوقت والتكلفة ، الربط والإغلاق عليها) يجري اختيار وتجهيز موقع مناسب لنقطة مؤقتة وتعطى إحداثيات افتراضية بالإضافة إلى افتراض وتجهيز اتجاه مؤقت عشوائي للشمال ماراً بالنقطة للوقت . بهذا يمكن البدء بالنقطة للوقت والاتجاه العشوائي أو الافتراضي للشمال لفايات حساب الإحداثيات لرؤوس للضلع. هذه الإحداثيات ستكون بالطبع غير مرتبطة بشبكة الإحداثيات العامة المرجعية ولكنها ستكون صالحة لتحديد المواقع النسبية للتفاصيل وللعالم المجاورة . كذلك يمكن الانتقال من هذه الإحداثيات للوقت إلى للطلقة (الإحداثيات التي تتبع نظام الإحداثيات العام للوحدة) عند الحاجة مستقبلاً إذا توفرت عناصر الربط بالشبكة العامة للإحداثيات وذلك بتطبيق معادلات التحويل اللازمة .

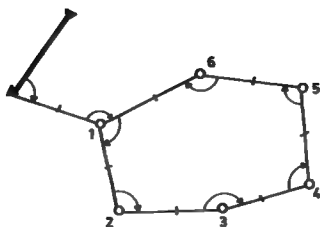
7 - قياس جميع الزوايا الأفقية (باتجاه دوران عقرب الساعة) بدءاً من عطف الاتجاه للرجعي (أي الخط الذي يصل بين نقطتي الربط للمعلوماتين بجوار بداية للضلع أو الخط للمثل لاتجاه الشمال الافتراضي) وانتهاءً بالخط الذي يصل بين نقطتي الغلق للمعلوماتين بجوار نهاية للضلع أو بالضلع الأخير من للضلع والذي يغلّق على نقطة بداية للضلع، أنظر الأشكال التالية :



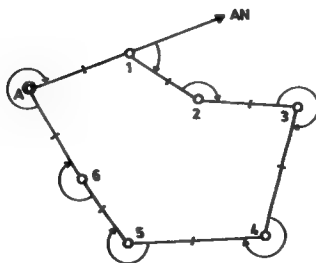
شكل 6 - 48 مضلع ربط (Connecting Traverse)،
 "قوي" بإحداثيات مطلقة



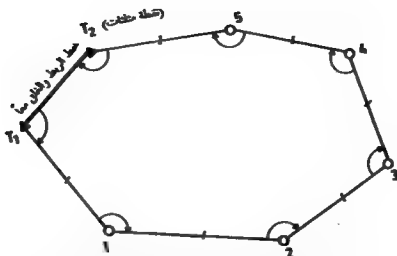
شكل 6 - 49 مضلع حلقي (Loop Traverse)
 "ضعيف" بإحداثيات نسبية محلية



شكل 6- 50 مضلع حلقي ، " ضعيف " بإحداثيات مطلقة

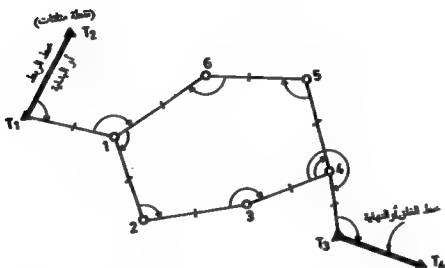


شكل 6- 51 مضلع حلقي " ضعيف " بإحداثيات نسبية محلية



شكل 6 - 52 مضلع حلقي (Loop Traverse)، "ضعيف"

ياحدايات مغلقة



شكل 6 - 53 مضلع حلقي ووصل (ربط) معاً ، "قوي" يااحدايات مغلقة

(Both Loop and Connecting Traverse)

- ملاحظة :
- توجه إلى نقطة محطات (أو محطات) معلومة الإحداثيات
 - نقطة محطات جديدة يراد تعيين إحداثياتها
 - نقطة مرجعية ذات إحداثيات قياسية
 - الخط الذي يربط المحطات
 - خارج خطس (قوي) ليس مسافة كافية في الخطين
 - زاوية كلية معلومة بآلة دورية تقرب المساحة
- AN

8 - قياس المسافات الأفقية لجميع الأضلاع باستثناء للمسافات بين النقاط للعلومة سابقاً .

9 - تحديد مواقع أركان اللبني باستخدام أحد الطرق المناسبة (الطريقة القطبية، طريقة البعد العمودي ، طريقة التقاطع الأمامي ، طريقة البعدين غير العموديين (Oblique or Tie Lines) .

10 - تحديد مواقع التفاصيل المختلفة حول وبجوار اللبني بإحدى طرق الجورير (Chain Surveying) أو بإحدى الطرق للناسبة الأخرى وذلك استناداً إلى أركان لبني (وهذا يكفي) أو/أو أركان وأضلاع للضلع (أي بقياس مسافات وزوايا أفقية استناداً إلى للضلع للنشأ ذاته .

ثانياً : العمل المكتبي :

يشتمل العمل المكتبي على البنود الأساسية التالية :

1 - حساب السموت لأضلاع للضلع وإجراء التصحيح اللازم بعد تحديد خطأ القفل السمي والتأكد من وقوعه ضمن مجال الخطأ للسموح .

2 - حساب الإحداثيات الأولية لأركان للضلع وإجراء التصحيح اللازم على هذه الإحداثيات بعد تحديد كل من خطأ القفل السمي (e_s) وخطأ القفل الصادي (e_v) والتحقق من عدم تجاوز الخطأ الخططي النسبي (Relative Error of Closure) لحدّ التساهل أو المجال للسموح ، وفقاً لطبيعة وغايات العمل للساحي ، وصولاً إلى الإحداثيات النهائية (للمصححة) لأركان للضلع .

3 - حساب الإحداثيات لمواقع بعض التفاصيل (من 15 إلى 20 موقع متنوع) وممن بينها كافة زوايا للبني .

4 - تمثيل مواقع للضلع واللبني والتفاصيل على غطط بمقياس رسم (1/ 500) أو (1/1000) .

- 5 - إبراز للقياس العددي والبياني واتجاه الشمال وجدول للمصطلحات والرموز وإخراج للمخطط بشكل متكامل ونظيف (Finishing the Plan) .

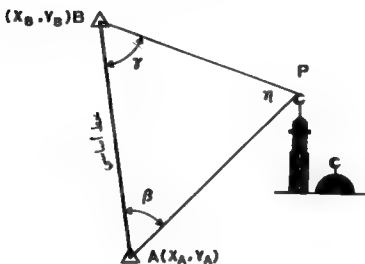
ملاحظات :

- أ - يتم قياس الزوايا الأفقية بدقة عالية (لأقرب ثانية بوحدة ، أي باستخدام : One Second Theodolite) وتقرأ الزاوية مرتين على الأقل وبشكل مستقل وفي وضعين مختلفين للمنظار (الوضع للتيامن والوضع للتيايس).
- ب - يستخدم المستومات لقياس للمسافات الأفقية ولأقرب 1مم فإن لم يتوفر الجهاز الإلكتروني لقياس للمسافات (المستومات أو EDM) يمكن استخدام الشريط الفولاذي (Steel Tape) مع مراعاة شروط الدقة العالية .
- ج - يراعى أن يتم ضبط الجهاز بشكل ممتاز من حيث الأفقية والرأسية (وقسوع مركز الجهاز رأسياً فوق محطة الرصد) .
- د - يجري التأكد من معايرة المستومات أو الشريط الفولاذي قبل البدء بالقياس بالإضافة إلى فحص ومعايرة التهودوليت .
- هـ - مراعاة تمركز العاكس بشكل رأسي فوق المحطة المرصودة .
- و - مراعاة التدوين السليم وأخذ القياسات الخاصة بالشروط الجوية (من ضغط وحرارة) أو إدخالها في الجهاز أثناء القياس وذلك حسب نوع وشروط جهاز المستومات .

4-6 تعيين الإحداثيات بطريقتي التقاطع الأمامي (Intersection) والتقاطع العكسي (Resection) ، [33]

1-4-6 طريقة التقاطع الأمامي

لحساب إحداثيات النقاط التي يصعب الوصول إليها كرؤوس للمآذن وأبراج الكنائس وللنسخن العالية (شكل 54-6) يمكن استخدام طريقة التقاطع الأمامي. لتوضيح هذه الطريقة دعنا نتابع حلّ المثال التالي :



شكل 54-6 تعيين إحداثيات نقطة بطريقة التقاطع الأمامي

مثال 6-14 :

في الشكل (54-6) لديك للمعطيات التالية :

$$X_A = 795.32 \text{ m} , X_B = 951.66 \text{ m}$$

$$Y_A = 703.66 \text{ m} , Y_B = 776.39 \text{ m}$$

$$\beta = 29^\circ 38' 16'' , \gamma = 41^\circ 59' 37''$$

المطلوب حساب إحداثيات النقطة P .

الحل :

1 - حساب اتجاه الضلع (AB) من خلال إحداثيات النقطتين (A) و (B) .

$$AB = [(156.34)^2 + (72.73)^2]^{\frac{1}{2}} = 172.43 \text{ m}$$

2 - حساب اتجاه (AP) معرفة اتجاه (AB) والزوايا الأفقية (β) .

$$\alpha_{AB} = \tan^{-1} \left(\frac{X_B - X_A}{Y_B - Y_A} \right)$$

$$\alpha_{AB} = \tan^{-1} \left(\frac{156.34}{72.73} \right) = 65^{\circ} \quad 03' \quad 07''$$

$$\alpha_{AP} = \alpha_{AB} + \beta = 65^{\circ} \quad 03' \quad 07'' + 29^{\circ} \quad 38' \quad 16''$$

$$\alpha_{AP} = 94^{\circ} \quad 41' \quad 23''$$

3 - حساب طول الضلع (AP) بتطبيق قانون الجيب :

$$\eta = 180^{\circ} - (29^{\circ} \quad 38' \quad 16'' + 41^{\circ} \quad 59' \quad 37'') = 108^{\circ} \quad 22' \quad 07''$$

$$\frac{AP}{\sin \gamma} = \frac{AB}{\sin \eta} , AP = AB (\sin \gamma) / \sin (\eta)$$

$$AP = 121.56 \text{ m}$$

4 - حساب إحداثيات (P) من خلال طول واتجاه (AP) :

$$X_P = X_A + d_{AP} \sin \alpha_{AP}$$

$$X_P = 795.32 + (121.56)(\sin 94^{\circ} \quad 41' \quad 23'')$$

$$X_P = 916.47 \text{ m}$$

$$Y_P = Y_A + d_{AP} \cos \alpha_{AP}$$

$$Y_P = 703.66 + (121.56)(\cos 94^{\circ} \quad 41' \quad 23'')$$

$$Y_P = 693.72 \text{ m}$$

5 - التحقق الحسابي :

$$\alpha_{BP} = \alpha_{BA} - \gamma$$

$$\alpha_{BA} = \alpha_{AB} \pm 180^\circ = 245^\circ 03' 07''$$

$$\alpha_{BP} = 245^\circ 03' 07'' - 41^\circ 59' 37'' = 203^\circ 03' 30''$$

$$\frac{BP}{\sin \beta} = \frac{AB}{\sin \eta}, BP = AB (\sin \beta) / \sin (\eta)$$

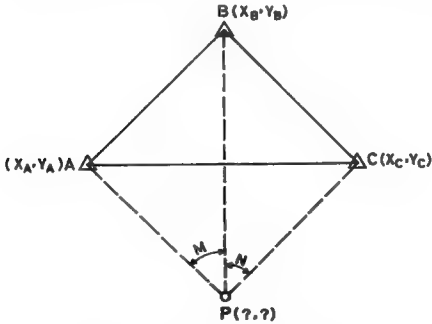
$$BP = 89.85 \text{ m}$$

$$X_P = X_B + d_{BP} \cos \alpha_{BP} = 916.47 \text{ m}$$

$$Y_P = Y_B + d_{BP} \cos \alpha_{BP} = 693.72 \text{ m}$$

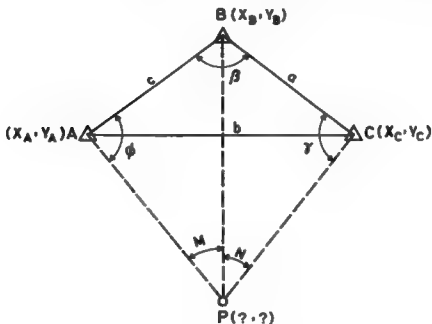
2-4-6 - طريقة التقاطع العكسي :

يمكن تعيين إحداثيات نقطة ما إذا أمكن تثبيت جهاز قياس زوايا فوقها (أي أمكن الوصول إليها ونصب الجهاز فوقها) ورصد ثلاث نقاط أخرى (على الأقل) معلومة الإحداثيات . على سبيل المثال، في الشكل (6-55) إذا افترضنا أن هناك ثلاث نقاط



شكل 6-55 إحداثيات نقطة بطريقة التقاطع العكسي

معلومة الإحداثيات $(X_A, Y_A, X_B, Y_B, X_C, Y_C)$ ومرئية من النقطة المجهولة $P(X_P, Y_P)$ والتي يسهل تثبيت جهاز قياس زولابا (بيودوليت) فوقها، فإنه يمكن بقياس الزاويتين (M) و (N) وبمعلومية إحداثيات النقاط (A) ، (B) ، (C) اشتقاق إحداثيات النقطة المجهولة (P) وذلك على الشكل التالي ، شكل (6 - 56) :



شكل 6 - 56

لدينا :

$$\beta = \alpha_{BA} - \alpha_{BC}$$

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{X_A - X_B}{Y_A - Y_B}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{X_C - X_B}{Y_C - Y_B}\right)$$

$$\phi + \gamma = 360^\circ - (\beta + M + N) = Q$$

$$a = [(X_C - X_B)^2 + (Y_C - Y_B)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$c = [(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{BP}{\sin \phi} = \frac{c}{\sin M}, \frac{BP}{\sin \gamma} = \frac{a}{\sin N}$$

$$BP = \frac{c(\sin \phi)}{\sin M} = \frac{a(\sin \gamma)}{\sin N}$$

$$\frac{\sin \phi}{\sin \gamma} = \frac{a(\sin M)}{c(\sin N)} = U$$

$$\sin \phi = U(\sin \gamma)$$

ومسبق أن وجدنا :

$$\phi = Q - \gamma$$

$$\sin \phi = (\sin Q)(\cos \gamma) - (\cos Q)(\sin \gamma)$$

$$U(\sin \gamma) = \sin(Q)(\cos \gamma) - (\cos Q)(\sin \gamma)$$

بالقسمة على $(\cos \gamma)$ ، ينتج :

$$U(\tan \gamma) = \sin Q - (\cos Q)(\tan \gamma)$$

$$\tan \gamma (U + \cos Q) = \sin Q$$

$$\tan \gamma = \sin Q / (U + \cos Q)$$

$$\gamma = \tan^{-1}[(\sin Q / (U + \cos Q))]$$

$$\phi = Q - \gamma$$

دعنا نوضح هذه الاشتقاقات بالمثل التالي :

مثال 6 - 15 :

لديك في الشكل (56-6) للمعطيات التالية :

$$X_A = 6318.66 \text{ m} , Y_A = 5516.76 \text{ m}$$

$$X_B = 7011.14 \text{ m} , Y_B = 5718.88 \text{ m}$$

$$X_C = 7469.13 \text{ m} , Y_C = 5587.19 \text{ m}$$

$$\hat{M} = 38^\circ 02' 54'' , \hat{N} = 42^\circ 19' 13''$$

للمطلوب إيجاد إحداثيات النقطة (P) .

الحل :

$$a = [(7469.13 - 7011.14)^2 + (5587.19 - 5718.88)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$a = 476.55m$$

$$c = [6318.66 - 7011.14]^2 - (5516.76 - 5718.88)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$c = 721.37m$$

$$\alpha_{BA} = \tan^{-1} \left(\frac{6318.66 - 7011.14}{5516.76 - 5718.88} \right) = 253^\circ \quad 43' \quad 43''$$

$$\alpha_{BC} = \tan^{-1} \left(\frac{7469.13 - 7011.14}{5587.19 - 5718.88} \right) = 106^\circ \quad 02' \quad 31''$$

$$\beta = \alpha_{BA} - \alpha_{BC} = 147^\circ \quad 41' \quad 12''$$

$$Q = 360^\circ - (M + N + \beta) = 131^\circ \quad 56' \quad 41''$$

$$U = a (\sin M) / c (\sin N)$$

$$U = 0.604740 \quad \text{rad.}$$

$$\gamma = \tan^{-1} [\sin (131^\circ \quad 56' \quad 41'') / (0.604740 + \cos (131^\circ \quad 56' \quad 41''))]$$

$$\gamma = 94^\circ \quad 53' \quad 35''$$

$$P\hat{B}C = 180^\circ - (N + \gamma)$$

$$P\hat{B}C = 180^\circ - (42^\circ \quad 19' \quad 13'' + 94^\circ \quad 53' \quad 35'') = 42^\circ \quad 47' \quad 12''$$

$$BP = a (\sin \gamma) / \sin N = 705.23m$$

$$\alpha_{BP} = \alpha_{BC} + P\hat{B}C$$

$$\alpha_{BP} = 106^\circ \quad 02' \quad 31'' + 42^\circ \quad 47' \quad 12'' = 148^\circ \quad 49' \quad 43''$$

$$X_P = X_B + d_{BP} \sin \alpha_{BP}$$

$$X_P = 7011.14 + 705.23 \sin (148^\circ \quad 49' \quad 43'') = 7376.17 \text{ m}$$

$$Y_P = Y_B + d_{BP} \cos \alpha_{BP}$$

$$Y_B = 5115.47m$$

وكتحقيق لهذا دعنا نحسب إحداثيات النقطة المجهولة (P) بالطريقة الثانية التالية :

نحسب $(\alpha_{BC}), (\alpha_{BA}), (a), (c)$ من خلال الإحداثيات :-

$$\alpha_{BA} = 253^{\circ} \ 43' \ 43''$$

$$\alpha_{BC} = 106^{\circ} \ 02' \ 31''$$

$$\beta = \alpha_{BA} - \alpha_{BC} = 147^{\circ} \ 41' \ 12''$$

$$a = 476.55\text{m} \quad , \quad c = 721.37\text{m}$$

$$\frac{1}{2}(\phi + \gamma) = 180^{\circ} - \frac{1}{2}(\beta + M + N)$$

$$\frac{1}{2}(\phi + \gamma) = 180^{\circ} - (228^{\circ} \ 03'' \ 19'') / 2 = 65^{\circ} \ 58' \ 20''$$

$$\lambda = \tan^{-1} \left(\frac{a (\sin M)}{c (\sin N)} \right)$$

$$\lambda = \tan^{-1} \left[\frac{476.55 (\sin 38^{\circ} \ 02' \ 54'')}{721.37 (\sin 42^{\circ} \ 19' \ 13'')} \right]$$

$$\lambda = 31^{\circ} \ 9' \ 47''$$

$$\frac{1}{2}(\gamma - \phi) = \tan^{-1} [\tan \frac{1}{2}(\gamma + \phi) \cot (45^{\circ} + \lambda)]$$

$$\frac{1}{2}(\gamma - \phi) = 28^{\circ} \ 55' \ 13''$$

$$\gamma = \frac{1}{2}(\phi + \gamma) + \frac{1}{2}(\gamma - \phi)$$

$$\gamma = 94^{\circ} \ 53' \ 33''$$

بالتعويض ، ينتج :

$$\phi = 2(65^{\circ} \ 58' \ 20'') - 94^{\circ} \ 53' \ 33'' = 37^{\circ} \ 03' \ 07''$$

$$\alpha_{AB} = \alpha_{BA} - 180^{\circ} = 73^{\circ} \ 43' \ 43''$$

$$\alpha_{AP} = \alpha_{AB} + \phi = 110^{\circ} \ 46' \ 50''$$

$$\hat{A}BP = 180^{\circ} - (\phi + M) = 104^{\circ} \ 53' \ 59''$$

$$AP = c (\sin \hat{A}BP) / \sin(M)$$

$$AP = (c)(\sin 104^{\circ} \ 53' \ 59'') / \sin (38^{\circ} \ 02' \ 54'')$$

$$AP = 1131.08 \text{ m}$$

$$X_P = X_A + d_{AP} \sin \alpha_{AP}$$

$$X_P = 7376.16 \text{ m}$$

$$Y_P = Y_A + d_{AP} \cos(\alpha_{AP})$$

$$Y_P = 5115.46\text{m}$$

وهي نفس القيم المحسوبة بالطريقة الأولى .

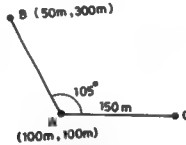
مسائل

6-1. معلومة الإحداثيات التالية ، للطلب حساب الاتجاه الدائري الكلي (W.C.B. or

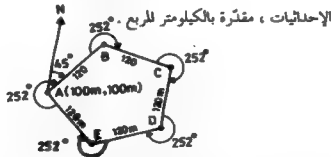
Azimuth) لكل من الأضلاع AB , AC, IJ, KL, JK

	X (m)	Y (m)
A	46732.41	3811.26
B	42139.65	36781.33
C	49822.47	37266.32
I	5329.41	4672.66
J	6321.75	5188.24
K	9163.41	3241.81
L	8445.25	3436.93

6-2. بالاستعانة بالشكل التالي ، للطلب حساب إحداثيات النقطة (C) .



6-3. مستعيناً بالشكل التالي ، للطلب حساب مساحة المضلع (ABCDE) بطريقة



6-4. الجدول التالي يبين السموت (الانحرافات أو الاتجاهات الدائرية الكلية

(Azimuths) لأضلاع مضلع مغلق شكلاً ، للطلب حساب الزوايا الداخلية لهذا

المضلع (Interior Angles of the Polygon) .

الضلع SIDE	السمت للمصحح CRTD. AZIMUTH
1 - 2	25° 50' 44"
2 - 3	81° 04' 09"
3 - 4	112° 04' 09"
4 - 5	134° 44' 57"
5 - 6	260° 46' 23"
6 - 7	275° 22' 19"
7 - 1	358° 28' 21"

5 - 6 أكتب القيم الصحيحة بدلا من علامات الاستفهام في الجدول التالي الذي يبين للمساقط السينية والمساقط الصادية للمصححة لأضلاع مضلع مغلق شكلا (Polygon).

الضلع Side	المسقط السيني Departure (m)	المسقط الصادي Latitude (m)
AB	+ 1.751	- 222.904
BC	?	- 1.763
CD	- 0.581	?
DA	- 340.581	- 2.512

6 - 6 مستعينا بالشكل للتثني التالي وإحداثيات رؤوسه ، المطلوب حساب مقدار المسافة الأفقية (2 , 8) علما بأن المسافة (3 , 8) تساوي : $d_{3,8} = 18.67$

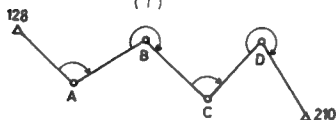


	X-Coord. (m)	Y-Coord. (m)
1	1180.918	309.745
2	1236.060	423.569
3	1292.756	432.455

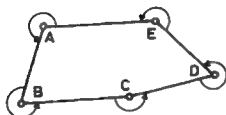
7-6 علق على كل من الأشكال (أ) و (ب)، ج، د، هـ، و.



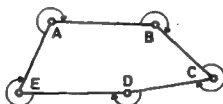
(i)



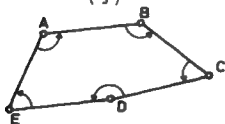
(ب)



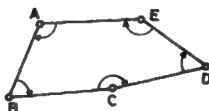
(د)



(ج)

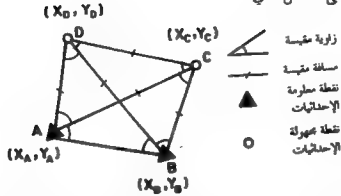


(و)

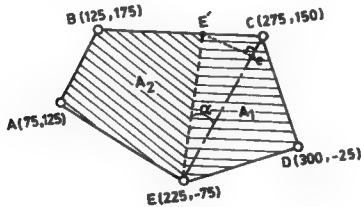


(هـ)

8 - 6 علق على الشكل التالي :



6 - 9 قطعة أرض خماسية الشكل وإحداثيات زواياها (أركانها) الخمس معلومة ، الشكل التالي ، يراد تقسيم هذه القطعة إلى جزئين بنسبة (4) إلى (7) على أن يمر خط



التقسيم من النقطة E ، والمطلوب :

أ - حساب إحداثيات النقطة (E') التي تشكل الطرف الثاني لخط التقسيم.

ب - وصف خطوات التقسيم الميدانية بالطرق الثلاث التالية :

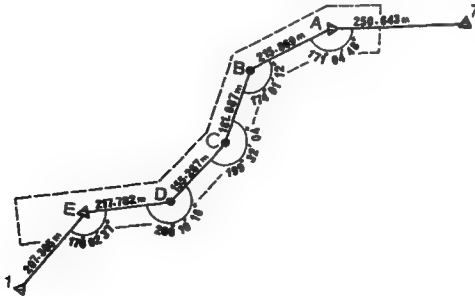
- 1 - الطريقة التقليدية القديمة (شريط ، شواخص ، برزما ... الخ).
- 2 - طريقة الدساتومات (Electronic Distance Metre, EDM) .

3 - طريقة المحطة الشاملة (Total Station) .

10-6 أنجز العمليات الحسابية التالية للمضلع الرابط للمبين في الشكل التالي (مراجع رقم 3:3):

- أ - حساب خطأ الإغلاق في الانحراف (Azimuth Closure) وتوزيعه وتعيين الانحرافات للمصححة لأضلاع المضلع .
- ب - حساب الإحداثيات الأولية لأركان المضلع وتعيين مقدار كل من خطائي الإغلاق الخطي والنسبي (Linear and Relative Errors of Closure).
- ج - حساب مقدار التصحيح لكل من الإحداثيين السيني والصادي لكل ركن من أركان المضلع .
- د - حساب الإحداثيات السنية والصادية النهائية للمصححة لأركان المضلع.
- هـ - حساب انحراف وطول كل ضلع من أضلاع المضلع باستخدام الإحداثيات النهائية .

علما بأن إحداثيات نقاط الضبط عند بداية ونهاية المضلع هي كما هو مبين في الجدول التالي :

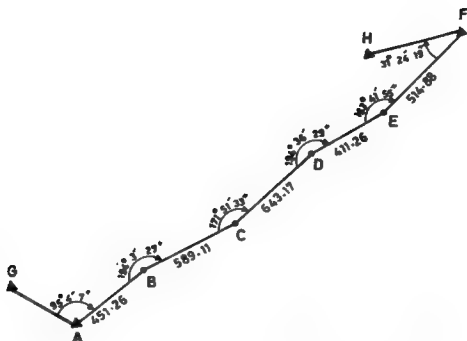


Point No. رقم النقطة	إحداثيات نقاط الضبط Control Point Coordinates	
	الإحداثي السيني X-Coordinate (m)	الإحداثي الصادي Y-Coordinate (m)
A	1594.627	5757.854
E	1748.552	5051.688
7	1531.544	6000.494
1	1725.936	4845.611

11 - 6 إنجز نفس العمليات الحسابية المطلوبة في المسألة السابقة ولكن على أساس الشكل التالي والإحداثيات والانحرافات الواردة في الجدول التالي (مرجع رقم

: -33)

إحداثيات نقاط الضبط : (Control point coordinates)		
Point	X	Y
A	46891.33m	17226.89m
F	48918.47m	18840.31m
الانحرافات للمعلومة : (Known azimuths)		
Line	Azimuth	
AG	307° 43' 25"	
FH	258° 25' 28"	

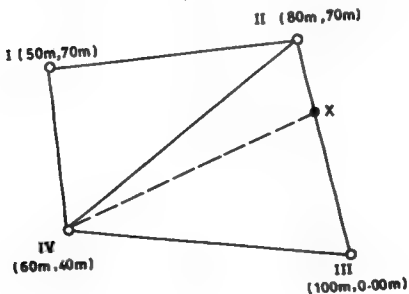


12 - 6 في الشكل التالي ، لديك المعطيات التالية :

أ - مساحة الجزء (I , II , X , IV) = $1520m^2$

ب - إحداثيات أركان المضلع هي كما هو مبين بجانب كل ركن على الشكل نفسه .

للمطلوب : حساب للمسافة الأفقية (II X) .



6- 13 إذا علمت أن قياسات للمسافة الأفقية لمضلع معين كانت تنسم باستخدام دسومات دقته $(\pm 5\text{mm} + 10\text{ppm})$ على أساس 1σ (At One Standard Error) فما هي الدقة التي يجب أن تقاس فيها الزوايا علما بأن معدل أطول أضلاع للمضلع يساوي (600m) ؟

6- 14 نفس المسألة السابقة ولكن دقة الدسومات $(\pm 5\text{mm} + 5\text{ppm})$ ؟

6- 15 إذا كانت زوايا مضلع معين تقاس بدقة $(\sigma_\alpha = \pm 1'')$ فما هي دقة قياس أطوال أضلاع للمضلع (النسبية) التي تنسجم مع دقة قياس الزوايا ؟

6- 16 نفس المسألة السابقة ولكن على أساس : $(\sigma_\alpha = \pm 30'')$ ، $(\sigma_\alpha = \pm 3'')$

6- 17 يراد القيام بمسح مضلعات (تضليع) لغايات للرتبة الثانية - صف ثاني علما بأنه يتوفر لديك قوائم مسافات إلكتروني (EDM) دقته $[\sigma_h = \pm (4\text{mm} + 5\text{ppm})]$ وجهاز ثيودوليت دقته $(\sigma_\alpha = \pm 1'')$ وأن معدل أطوال أضلاع للمضلع يساوي (700m) . هل يمكن الاستحابة لمعايير الدقة في ظل للتوفر ؟ وهل تنسجم دقة قياس الزوايا مع دقة قياس للمسافات حسب الأجهزة للتوفرة ؟

6- 18 إذا لم تتحقق شروط المواصفات (معايير الدقة) في المسألة السابقة ، فماذا يمكن أن يكون أحد الحلول ؟

6- 19 احسب زاوية التقارب لخطي الشمال الجغرافي بين نقطتين مساحيتين (I) و (II) إحداثياتهما الجغرافية كما يلي :

$$\phi_I = 44^\circ 30' 16''\text{N}, \lambda_I = 78^\circ 32' 17''\text{W}$$

$$\phi_{II} = 44^\circ 38' 49''\text{N}, \lambda_{II} = 78^\circ 27' 43''\text{W}$$

6- 20 نفس المسألة السابقة ولكن :

$$\begin{aligned} \phi_I &= 31^\circ 17' 23''N, \lambda_I = 76^\circ 48' 25''W \\ \phi_{II} &= 31^\circ 08' 14''N, \lambda_{II} = 76^\circ 56' 36''W \end{aligned} \quad - \text{ أ}$$

$$\begin{aligned} \phi_I &= 45^\circ 30' 23''N, \lambda_I = 120^\circ 39' 16''W \\ \phi_{II} &= 45^\circ 31' 56''N, \lambda_{II} = 120^\circ 27' 49''W \end{aligned} \quad - \text{ ب}$$

6- 21 - احسب زاوية التقارب الخطي الشمال الجغرافي بين نقطتين مساحيتين في ظل للمعطيات التالية :

- معدل زاويتي العرض للنقطتين (Average Latitude) يساوي :
(40° 15'N) .

- مجموع المسافات السينية بين النقطتين (Departure or East-West Distance) يساوي (9.600 Km) .

- نصف قطر الأرض للمعبر (R) يساوي : (6370 km) .

6- 22 في ظل للمعطيات التالية (لاحظ الشكل 6-18) :

- السميت الحقيقي للضلع للرجعي عند نهاية للضلع (T₃ , T₄) يساوي :

$$\alpha_{T_3, T_4} = 346^\circ 04' 48''$$

- السميت المحسوب للضلع للرجعي يساوي : $\alpha_{T_3, T_4} = 345^\circ 55' 24''$

- متوسط زاويتي العرض للنقطتين (T₁) , (T₃) يساوي :

$$(\phi = 39^\circ 50'N)$$

- النقطة (T₃) شرق النقطة (T₁) بمقدار : L = 20.313 km

- نصف قطر الأرض : (R = 6370 km)

للمطلوب حساب خطأ القفل السميتي المعاد خطأ قياس الزوايا .

6- 23 لتحديد أطوال واتجاهات أضلاع قطعة الأرض (I , II , III, IV) ونظرا لوجود

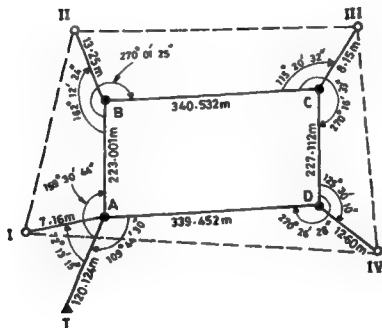
أشجار كبيرة وجدران عالية وعوائق مختلفة ، جرى إنشاء مضلع (ABCD)

داخل هذه القطعة وتم قياس أطوال أضلاعه كما قيست الزوايا الأفقية اللازمة

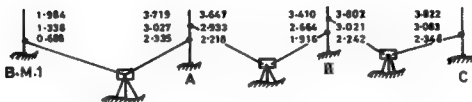
(انظر الشكل التالي). كذلك قيست للمسافات والزوايا الأفقية الرابطة بين أركان المضلع وأركان قطعة الأرض وكانت كما هو مبين على الشكل نفسه. إذا علمت أن هناك نقطة مرجعية (T) إحداثياتها كما يلي :

$$X_T = 3573.628\text{m} , Y_T = 6238.224\text{m}$$

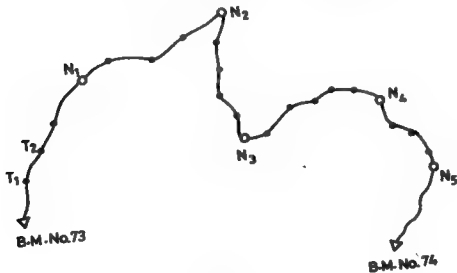
وأن سمت (Azimuth) المضلع (A, T) يساوي : $\alpha_{A,T} = 200^\circ 02' 13''$
 للطلوب حساب أطوال وانحرافات أضلاع قطعة الأرض (I, II, III, IV)
 (Length and Azimuth of Each Side of the Parcel)



6 - 24 مستعينا بالمعلومات المدونة أدناه ، المطلوب حساب : أ) منسوب كل من النقاط (A) , (B) , (C) ، ب) مقدار للساقة الأعظمية بين الجهاز والمسطرة ، علما بأن مقدار الثابت الستادي 50 .



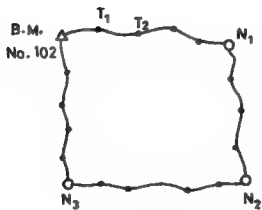
6 - 25 عند حساب مناسيب النقاط الجديدة (N_1, N_2, \dots etc.) ، لاحظ الشكل التالي، والقفّل على علامة للنسوب (B.M. 74) وجد أن خطأ القفل خارج المجال المسموح بمقدار كبير ، علل ذلك ، وماذا أنت صانع في مثل هذه الحالة؟ وهل كان بالإمكان تجنب ذلك قبل البدء بالقياس ؟



6- 26 لتعيين مناسب النقاط الجديدة (N1 , N2 , N3) هل تفضل استخدام الطريقة (أ) أم الطريقة (ب) ؟ وضع ذلك جيذا .

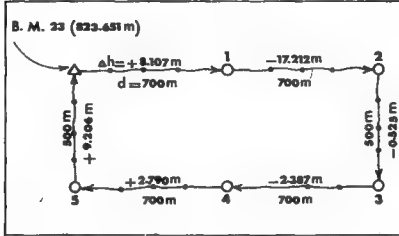


- أ -



- ب -

6- 27 رتب جدولاً بعمليات التصحيح (مقادير التصحيحات والناسيب للصحة)
اللازم تطبيقها على فروق للناسيب المبينة في الشكل التالي بهدف إيجاد للناسيب
النهائية للصحة للنقاط 1, 2, 3, 4, 5 ، أنظر الشكل التالي :



- 6- 28 بالرجوع إلى الجدول رقم (6- 11) ، للطلب إنجاز العمليات التالية :
- أ - بافتراض أن منسوب نقطة (B.M.1) يساوي (1001.675m) فكم يكون منسوب نقطة (B.M.2) ؟
 - ب - بافتراض أن قيمة الثابت الستادي تساوي (50) ، حدد طول خط النظر الأعظمي بين الجهاز والسطرة في ضوء القراءات للوننة في الجدول .
 - ج - ما هو الفرق الأعظمي بين مسافة للقراءة الخلفية ومسافة القراءة الأمامية.
 - د - حدد مقدار الفرق بين مجموع للمسافات للقراءات الأمامية ومجموع للمسافات للقراءات الخلفية .

6- 29 بالاستعانة بالشكل التالي، للطلب إيجاد للناسيب الصحيحة للنقاط الجديدة
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 .

ملحوظة :

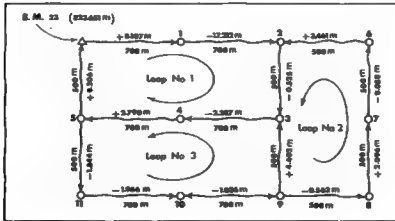
لحل المسألة ، يمكنك عمل ما يلي وبالترتيب :

- أ - صحح نقاط الحلقة 1 (Loop #1) بشكل يتناسب مع المسافات بين هذه النقاط.
- ب - صحح نقاط الحلقة 2 بنفس الأسلوب التبع في البند أ .
- ج - صحح نقاط الحلقة 3 بنفس الأسلوب أيضا .
- د - أعد تصحيح الحلقات الثلاث بالتتابع ولعدد من المرات يصبح فيها خطأ القفل أو الإغلاق (Closure Error) مهملا لجميع الحلقات الثلاث .

لاحظ ضرورة إدخال القيم للصححة النهائية (الناتجة عن عملية التصحيح السابقة مباشرة) في كل عملية تصحيح جديدة .

6 - 30 أذكر بإيجاز :

- أ - خمسة عناصر أساسية في إنجاز عمليات التسوية الدقيقة .
- ب - خمسة مصادر رئيسة للأخطاء في أعمال التسوية الدقيقة .
- ج - هل نستخدم التسوية العادية أم الدقيقة أم للثلية في أعمال الطرق؟ وضع ذلك جيدا .



- 7 -

- الفصل السابع -

التسوية المثلثية

TRIGONOMETRIC LEVELLING

7 - الأعمال المساحية الخاصة بالتسوية المثلثية

(Trigonometric Levelling)

7-1- مقدمة :-

يلزم في مرحلة أو أكثر من مراحل تصميم خطوط المسارات المختلفة معرفة مناسيب (Elevations) نقاط من مناطق مرتفعة أو منخفضة أو بعيدة أو وعرة يصعب الوصول إليها أو للتنقل حولها . ومن أجل ذلك نلجأ عادة إلى طريقة التسوية المثلثية في تعيين المناسيب المطلوبة . وتتخلص هذه الطريقة بإجراء قياس للزوايا الرأسية (بواسطة جهاز التيودوليت والمسافات) بواسطة الأشرطة و/ أو الأجهزة الالكترونية (انطلاقاً من نقاط استنادية أو مرجعية معلومة المناسيب (Bench Marks) ، تنتشر عادة بالقرب وعلى طول محور المشروع المقترح وقرىباً منه وباتجاه النقاط الجديدة المراد تعيين ارتفاعاتها أو مناسيبها ، ثم تتم الاستعانة بالعلاقات الرياضية المناسبة لاستنباط المناسب المطلوبة استناداً إلى قياسات الزوايا والمسافات . وتعتمد دقة المناسيب المحسوبة بهذه الطريقة على عدة عوامل ، من أهمها :-

- 1- دقة جهاز قياس الزوايا
- 2- دقة جهاز قياس المسافات
- 3- إجراء التصحيحات الخاصة بانحناء الأرض (Earth Curvature correction) وانكسار الأشعة (Refraction Correction).
- 4- دقة فريق المساحة واسلوب عمله وبرامج حساباته . وعلى كل حال ، إن دقة التسوية المثلثية لا تصل إلى مستوى الدقة المتناهية Precise Spirit Levelling التي تصلها التسوية التي تُجرى باستخدام موازين تسوية دقيقة ووفقاً لأساليب وطرق قياسية وحسابية دقيقة غير أن السرعة التي تتميز بها أعمال التسوية المثلثية (خصوصاً في المناطق الوعرة والنقاط البعيدة) تجعل منها طريقة اقتصادية في توفير معلومات المناسب وفروق الارتفاعات لكثير من الغايات وفي العديد من المشاريع الهندسية وفي مقدمتها مشاريع الطرق والسكك الحديدية وخطوط النقل الكهربائية

نقدم فيما يلي نماذج وتطبيقات متنوعة على التسوية المثلثية ومنمیز فيها بین الحالة التي تكون فيها النقاط المرصودة (النقاط المراد تعيين مناسيبها) بعيدة (أي تلك التي يزيد بعدها عن حوالي 500m) حيث سنأخذ بعین الاعتبار الأخطاء الناشئة عن انحناء الأرض (Earth Curvature) وانكسار الأشعة (Refraction) والحالة التي تكون فيها هذه النقاط قريبة (التي يقل بعدها عن 500m) حيث سنهمل تأثير كل من انحناء الأرض وانكسار الأشعة وقبل أن نبدأ بمرضى هذه التطبيقات دعنا نتفق أولاً على الرموز التالية :-

i	ارتفاع الجهاز (جهاز الرصد) فوق محطة الرصد
t	ارتفاع الهدف المرصود (فعلاً) فوق النقطة المراد تعيين منسوبها
D	المسافة الأفقية بين محطة الرصد والهدف المرصود
α	الزاوية الرأسية (Vertical Angle)
Z	الزاوية السموية (Zenith Angle)
$(H_B - H_A)$	فرق المنسوب بين النقطتين A,B
h_c	التصحيح الخاص بانحناء الأرض (Earth Curvature Correction)
h_r	التصحيح الخاص بانكسار الأشعة * (Refraction Correction)
R.L.	منسوب النقطة فوق المستوى الوسطي لسطح البحر (Reduced Level above M.S.L.)

7-2 تحديد ارتفاعات ومناسيب الأهداف أو النقاط القريبة مع إهمال تأثير انحناء الأرض وانكسار الأشعة .
 منمیز هنا أيضاً بين حالتين ، الحالة التي يتم فيها رصد الهدف أو النقطة المقصودة والحالة التي يتم فيها رصد هدف أو نقطة أخرى تقع رأسياً فوق النقطة المقصودة، [52م] .

1- حالة الرصد المباشر للنقطة المراد تحديد منسوبها .

أ) لنفرض في الشكل (1-7) انه يراد تعيين منسوب النقطة C بدلالة الزاوية الرأسية α والمسافة D المقيستين في الحقل وبمعلومية منسوب النقطة A . في هذه الحالة يمكن اتباع الخطوات التالية :-

1- يقياس ارتفاع مركز جهاز التئودوليت فوق النقطة A وليكن i فيصبح منسوب الخط الأفقي المار بمركز الجهاز (أي H.I.) مساوياً .

$$H.I. = i + \text{Reduced Level of Point A} \quad (1-7)$$

لاحظ أن منسوب النقطة A معلوم بشكل مسبق

2- بحسب مقدار الارتفاع CC' ارتفاع النقطة C فوق مستوى خط النظر من العلاقة :-

$$CC' = D \cdot \tan \alpha \quad (2-7)$$

لاحظ أن كلا من الزاوية الرأسية α والمسافة الأفقية D قد قيس في الحقل .

3- يجمع المقدار CC' إلى منسوب خط النظر ، H.I. فينتج لدينا منسوب النقطة C ، أي :-

$$\text{Reduced Level of C} = i + \text{Reduced Level of A} + D \cdot \tan \alpha$$

$$\text{Reduced Level of C} = H.I. + D \cdot \tan \alpha \quad (3-7)$$

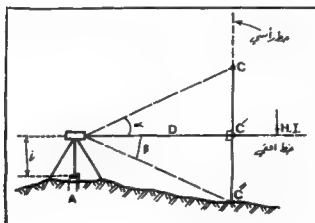
ب- إذا أريد معرفة ارتفاع النقطة C فوق النقطة C'' (مسقط النقطة C على سطح الأرض ، شكل (1-6)) أي مقدار الارتفاع CC'' ، فيلزم حساب مقدار الارتفاع CC'' من أجل ذلك يكفي أن نقيس الزاوية الرأسية β ونطبق العلاقة التالية:

$$CC'' = CC' + C'C'' = D \cdot \tan \alpha + D \cdot \tan \beta$$

$$CC'' = D (\tan \alpha + \tan \beta) \quad (4-7)$$

ج - إذا أريد معرفة فرق المنسوب بين النقطتين A,C عندها نضيف الارتفاع CC' إلى ارتفاع الجهاز i فوق النقطة A أي :

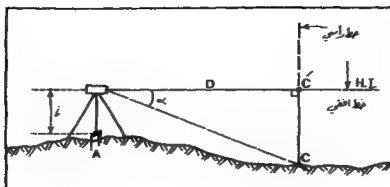
فرق المنسوب بين النقطتين A,C شكل (1-7) يماوي :-
Height Difference Between A and C = $i + D \cdot \tan \alpha$(5-7)



الشكل رقم 1-7-

د - إذا كانت النقطة C المراد تعيين منسوبها واقعة أسفل الخط الأفقي، الشكل (2-7) فيمكن اتباع نفس الأسلوب مع ملاحظة أن المقدار $D \cdot \tan \alpha$ يطرح من منسوب خط النظر أي :-

Reduced Level of C = Reduced Level of A + $i - D \cdot \tan \alpha$
Reduced Level of C = H.I. - $D \tan \alpha$(6-7)

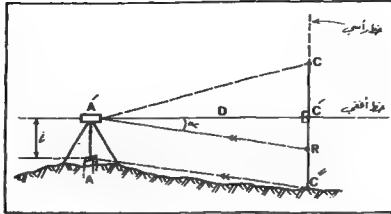


الشكل رقم 7-2

هـ- إذا لم يكن بالإمكان قياس المسافة الأفقية D مباشرة فيمكن عندها قياس المسافة المائلة AC'' أو ما يعادلها ، الشكل (7-3) وذلك بـاختيار نقطة R على الخط الرأسي CC'' بحيث يكون $i = RC''$ فيكون طول الخط $A'R$ (الواصل بين مركز الجهاز والنقطة R) مـساوياً للمسافة المائلة AC'' . الآن نقيس الزاوية الرأسية α (بواسطة التيوبوليت) فتكون المسافة الأفقية D مساوية :

$$D = AC'' \cdot \cos \alpha = A'R \cdot \cos \alpha \quad (7-7)$$

نـقـاس المسافة المائلة AC'' (لو تقاس المسافة المائلة للمعادل لها $A'R$ بالقيريط أو بالجهاز الإلكتروني EDM) . أما الزاوية الرأسية α فيجـري قياسها بواسطة التيوبوليت بأن ترصد النقطة R على الخط الرأسي CC'' ونقرأ الدائرة الرأسية للجهاز

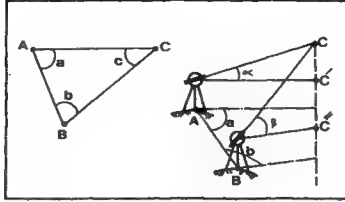


الشكل رقم 7-3-

ملحوظة

أحيانا لا يمكن قياس المسافة (سواء المائلة slope Distance أو الأفقية Horizontal Distance) بين الجهاز وبين أي نقطة من الخط للرأسي CC'' بسبب عدم إمكانية الوصول إلى الخط للرأسي ، كان تكون نقطة C رأس منقطة ومسقطها C'' هي نقطة داخل المبنى . في هذه الحالة يمكن أن يكون الحل على الشكل التالي ، الشكل (4-7) .

- 1- نختار نقطة مساعدة B على مسافة مناسبة من A ومن الهدف C (لزيادة من الدقة ، يتم اختيار النقطة B بحيث يكون المثلث ABC متساوي الأضلاع تقريبا). أن الخط AB يشكل خطا أساسيا في المثلث ABC حيث سيعتمد عليه وعلى زوايا المثلث الأفقية في حساب أطوال الأضلاع الأخرى .



الشكل رقم 7-4

- 2- تقاس المسافة الأفقية للخط الأساسي AB بدقة كبيرة بواسطة الشريط أو الجهاز الإلكتروني .
- 3- تقاس الزاويتان الأفقيتان a, b عدة مرات ويأخذ من الدقة (بواسطة الثيودوليت) ويؤخذ معدل القياسات لكل زاوية .
- 4- نستنتج الزاوية C من العلاقة :-

$$C = 180 - (a + b) \quad (8-7)$$
- 5- يطبق قانون الجيب لحساب المسافتين الأفقيتين AC, BC على الشكل التالي :-

$$\frac{AC}{\sin b} = \frac{BC}{\sin a} = \frac{AB}{\sin c} \quad (9-7)$$

$$AC = \frac{AB}{\sin c} \sin b \quad (10-7)$$

$$BC = \frac{AB}{\sin c} \sin a \quad (11-7)$$

لاحظ أن الضلع AB هو خط أساسي يجري قياسه بدقة في الحقل وأن الزوايا a,b,c أصبحت جميعها معلومة سواء بالقياس أو بالاشتقاق . الآن بمعرفة المسافتين الأفتيتين AC,BC يمكن حساب منسوب الهدف C مرتين (مره باستخدام الطرف A من الخط الأساسي ومره باستخدام الطرف الآخر B) وذلك باتباع نفس الخطوات المشروحة آنفا .

ثانيا- الحالة التي يتم فيها رصد الهدف أو (النقطة المراد تحديد منسوبها) بشكل غير مباشر .

في أغلب الحالات يتم رصد هدف يعلو النقطة المراد تحديد منسوبها وذلك نظرا لتعذر رصدها أو رؤيتها مباشرة . على سبيل المثال عند استخدام الأجهزة الالكترونية في قياس المسافات يتم تثبيت عاكس (Reflector) فوق النقطة المراد تحديد بعدها أو منسوبها ويجري رصد مركزه بدلا من النقطة ذاتها . في الفقرات التالية سنحدد مختلف العلاقات الرياضية الواجب استخدامها في مثل هذه الحالات .

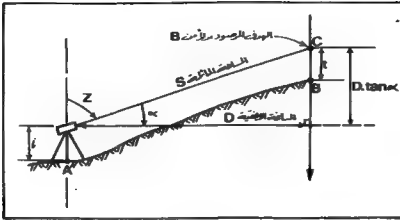
أ. الوضع الذي يكون فيه خط النظر للأعلى (الزاوية السميئة أصغر من 90°)
بملاحظة الشكل رقم (5-7) يمكن للبرهان على صحة العلاقات الرياضية التالية

$$H_B = H_A + i + D \cdot \tan \alpha - t$$

$$H_B = H_A + i + D \cdot \tan (90 - Z) - t \dots\dots\dots \text{أو} \dots\dots\dots (12-7)$$

$$R.L. \text{ of } B = R.L. \text{ of } A + D \cdot \tan \alpha + (i - t)$$

$$R.L. \text{ of } B = R.L. \text{ of } A + D \cdot \tan (90 - Z) + (i - t) \dots\dots\dots \text{أو} \dots\dots\dots (13-7)$$



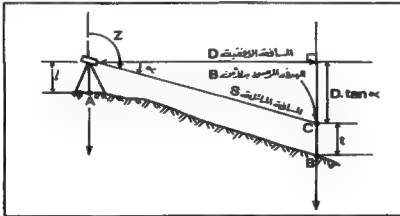
الشكل رقم 5-7

ب- الوضع الذي يكون فيه خط النظر للأسفل (الزاوية السمتية أكبر من 90°)
 بملاحظة الشكل رقم (6-7) يمكن البرهان على العلاقات الرياضية التالية

$$H_B = H_A + i - D \cdot \tan \alpha - t \quad \text{أو} \quad \dots \dots \dots (14-7)$$

$$R.L. \text{ of } B = R.L. \text{ of } A - D \cdot \tan \alpha + (i - t)$$

$$R.L. \text{ of } B = R.L. \text{ of } A - D \cdot \tan (Z - 90^\circ) + (i - t) \quad \text{أو} \quad \dots \dots \dots (15-7)$$



الشكل رقم 6-7

ملحوظات :

1- إذا قيست المسافة المثلثة S بدلا من المسافة الأفقية D بين محطة الرصد والهدف المرصود ، فيمكن تطبيق العلاقات التالية في كلا الحالتين (خط للنظر للأعلى وللأسفل).

$$H_B - H_A = S \cdot \cos Z + (i-t) \quad (16-7)$$

$$R.L. \text{ of } B = R.L. \text{ of } A + S \cos Z + (i-t) \quad (17-7)$$

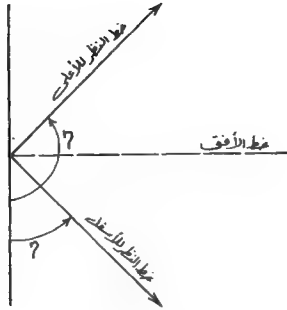
2- إذا عرفنا الزوايا (α) تعريفاً وحيداً بالعلاقة:

$$\alpha = 90^\circ - Z$$

فتكون عندئذ قيمة الزاوية (α) أكبر من الصفر إذا كان خط النظر للأعلى (الوضع أ) وبالتالي يكون $\tan \alpha$ أو $\tan (90^\circ - Z)$ موجبا ، وتكون قيمة الزاوية (α) أصغر من الصفر إذا كان خط النظر للأسفل (الوضع ب) وبالتالي يكون $\tan \alpha$ أو $\tan (90^\circ - Z)$ سالبا . وعليه يمكن تطبيق العلاقة الرياضية التالية في كلا الحالتين (خط النظر للأعلى وللأسفل):

$$R.L. \text{ of } B = R.L. \text{ of } A + D \cdot \tan \alpha + i - t \quad (18-7)$$

3- إذا قيست الزاوية النظرية η الشكل (7-7) عوضاً عن قياس الزاوية المسمية Z فإنه بتعريف الزاوية (α) بالعلاقة : $\alpha = \eta - 90^\circ$ يمكن عندئذ تطبيق نفس العلاقة الرياضية ، أي : (18-7) •



الشكل -7-7- الزاوية النظرية η

3-7- تحديد ارتفاعات ومناسيب الأهداف أو النقاط البعيدة مع اعتبار تأثير انحناء الأرض وانكسار الأشعة، [م 33] .

عندما تكون الأهداف أو النقاط المراد تحديد مناسيبها بعيدة (أكثر من نحو 500m) فانه يصعب - في الغالب - رصد هذه النقاط بشكل مباشر ، لذلك سيقصر الشرح هنا على الأوضاع التي يجري فيها رصد هدف أو نقطة تعلو للنقطة المراد تحديد منسوبها .

أ. حالة خط النظر للأعلى (الزاوية المسمية أصغر من (90°))

بملاحظة الشكل (8-7) يمكن البرهان على صحة العلاقات
الرياضية التالية :-

$$H_B - H_A = i + h_c + D \cdot \tan \alpha - h_r - t \dots\dots\dots (19-7)$$

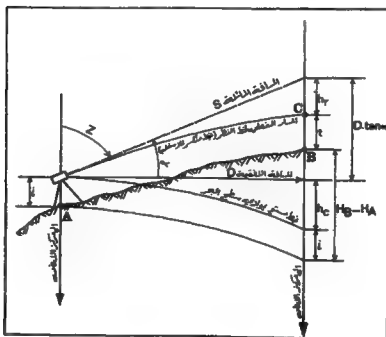
$$H_B - H_A = i + h_c + D \cdot \tan (90-Z) - h_r - t \dots\dots\dots (20-7)$$

$$R.L. \text{ of } B - R.L. \text{ of } A = i + h_c + D \cdot \tan \alpha - h_r - t \dots\dots\dots (21-7)$$

$$R.L. \text{ of } B - R.L. \text{ of } A = i + h_c + D \cdot \tan (90-Z) - h_r - t \dots\dots\dots (22-7)$$

$$R.L. \text{ of } B - R.L. \text{ of } A = D \cdot \tan \alpha + (i-t) + (h_c - h_r) \dots\dots\dots (23-7)$$

$$R.L. \text{ of } B = R.L. \text{ of } A + D \cdot \tan (90-Z) + (i-t) + (h_c - h_r) \dots\dots (24-7)$$



الشكل رقم -8-7-

ب- حالة خط النظر للأفضل (الزاوية المستوية أكبر من 90°) ،
للشكل (7-9) وهنا يمكن أيضاً البرهان على صحة العلاقات
الرياضية التالية :-

$$H_A - H_B = t + h_r + D \cdot \tan \alpha - h_c - i \dots \dots \dots (25-7)$$

$$H_B - H_A = h_c + i - t - h_r - D \cdot \tan \alpha \dots\dots\dots (26-7)$$

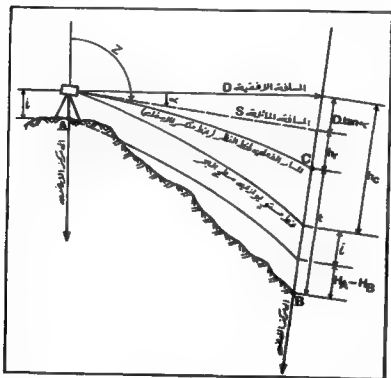
$$H_B - H_A = h_c + i - t - h_r - D \cdot \tan(Z - 90^\circ) \quad (27-7)$$

$$\text{R.L. of B} - \text{R.L. of A} = h_c + i - t - h_c - D \tan \alpha \dots\dots\dots (28-7)$$

$$\text{R.L. of B} - \text{R.L. of A} = h_c + i - t - h_r - D \cdot \tan (Z - 90^\circ) \quad (29-7)$$

$$\text{R.L. of B} - \text{R.L. of A} = D. \tan \alpha + (i-t) + (h_c - h_r) \dots\dots\dots (30-7)$$

$$\text{R.L. of B} = \text{R.L. of A} - D \cdot \tan (Z-90) + (i-t) + (h_c - h_r) \quad (31-7)$$



الشكل رقم 7-9-

ملحوظة :-

كثيراً ما تقاس المسافة المائلة S بدلا من المسافة الأفقية D بين محطة الرصد والهدف المرصود وخاصة عند استخدام أجهزة قياس المسافة الإلكترونية (EDM). في هذه الحالة يمكن تطبيق العلاقات التالية في كلا الحالتين : خط النظر للأعلى (الزاوية السمتية Z أصغر من 90°) وخط النظر للأسفل (الزاوية السمتية Z أكبر من 90°).

$$H_B - H_A = S \cdot \cos Z + (i-t) + (h_c - h_r) \dots \dots \dots (32-7)$$

$$R.L. \text{ of } B - R.L. \text{ of } A = S \cdot \cos Z + (i-t) + (h_c - h_r) \dots \dots \dots (33-7)$$

$$R.L. \text{ of } B = R.L. \text{ of } A + S \cdot \cos Z + (i-t) + (h_c - h_r) \dots \dots \dots (34-7)$$

مثال رقم -1-7-

نتعيين منسوب رأس المنننة C ، تم اختيار الخط الأساسي AB ، الشكل (4-7) بجوار المنننة وقيس طوله بدقة بواسطة الشريط فوجد مسوياً $112.275m$ وثبت جهاز ثيودوليت في النقطة A وقيست الزاوية الرأسية α بين رأس المنننة ومركز الجهاز أربع مرات فوجدت :
 $4^\circ 20' 00''$, $4^\circ 20' 00''$, $4^\circ 20' 10''$, $4^\circ 20' 00''$
 ثم قيس الزاوية الأفقية β أربع مرات فوجدت :
 $63^\circ 40' 30''$, $63^\circ 40' 20''$, $63^\circ 40' 30''$, $63^\circ 40' 30''$

نقل الجهاز الى الطرف الآخر B من خط الأساسي ، وبعد ضبطه قيس الزاوية الرأسية β بين رأس المنننة ومركز الجهاز أربع مرات فوجدت :

$$3^\circ 30' 30''$$
 , $3^\circ 30' 30''$, $3^\circ 30' 40''$, $3^\circ 30' 40''$

ثم قيمت الزاوية الأفقية b أربع مرات فوجدت :
 $59^{\circ} 20' 15''$, $59^{\circ} 20' 20''$, $59^{\circ} 20' 20''$, $59^{\circ} 20' 20''$,
 فلذا علمت أن منسوب النقطة A يساوي 1010.178m وارتفاع مركز
 الجهاز (الثيودوليت) فوقها يساوي 1.52m وأن منسوب النقطة B
 يساوي 1011.492m وارتفاع مركز الجهاز فوقها يساوي 1.55m فما هو
 منسوب نقطة رأس المنفذة C ؟

الحـل :

للزاوية الرأسية α تساوي :-

$$\frac{4^{\circ} 20' 10'' + 4^{\circ} 20' 00'' + 4^{\circ} 20' 00'' + 4^{\circ} 20' 00''}{4} = 4^{\circ} 20' 2.5''$$

الزاوية الرأسية β تساوي :

$$\frac{3^{\circ} 30' 40'' + 3^{\circ} 30' 40'' + 3^{\circ} 30' 30'' + 3^{\circ} 30' 30''}{4} = 3^{\circ} 30' 27.5''$$

الزاوية الأفقية a تساوي :

$$\frac{63^{\circ} 40' 30'' + 63^{\circ} 40' 30'' + 63^{\circ} 40' 20'' + 63^{\circ} 40' 30''}{4} = 63^{\circ} 40' 27.5''$$

الزاوية الأفقية b تساوي :

$$\frac{59^{\circ} 20' 15'' + 59^{\circ} 20' 20'' + 59^{\circ} 20' 20'' + 59^{\circ} 20' 20''}{4} = 59^{\circ} 20' 18.75''$$

الزاوية الأفقية c تساوي :

$$180^{\circ} - (63^{\circ} 40' 27.5'' + 59^{\circ} 20' 18.75'') = 56^{\circ} 59' 13.75''$$

المسافة الأفقية AC تساوي :

$$AC = \frac{AB}{\sin c} \sin b = \frac{112.275}{\sin 56^\circ 59' 13.75''} \sin 59^\circ 20' 18.75''$$

$$AC = 115.173m$$

المسافة الأفقية BC تساوي :

$$BC = \frac{AB}{\sin c} \sin a = \frac{112.275}{\sin 56^\circ 59' 13.75''} \sin 63^\circ 40' 27.5''$$

$$BC = 120.006m$$

منسوب خط النظر أو ارتفاع الجهاز H.I. عند النقطة A يساوي :

$$H.I._A = R.L. \text{ of } A + i_A$$

حيث ترمز i_A إلى ارتفاع الجهاز فوق النقطة A .

$$H.I._A = 1010.178 + 1.52 = 1011.698m$$

منسوب رأس المنذنة C يساوي :

$$R.L. \text{ of } C = H.I._A + AC \cdot \tan \alpha$$

$$R.L. \text{ of } C = 1011.698 + 115.173 \tan (4^\circ 20' 2.5'')$$

$$R.L. \text{ of } C = 1020.427m$$

منسوب خط النظر أو ارتفاع الجهاز H.I. عند النقطة B يساوي .

$$H.I._B = R.L. \text{ of } B + i_B$$

حيث ترمز i_B إلى ارتفاع الجهاز فوق النقطة B.

$$H.I.B = 1011.492 + 1.55 = 1013.042m$$

منسوب رأس المنئنة C يساوي :

$$R.L. \text{ of } C = H.I.B + BC. \tan \beta$$

$$R.L. \text{ of } C = 1013.042 + 120.006 \tan (3^\circ 30' 35'')$$

$$R.L. \text{ of } C = 1020.402m$$

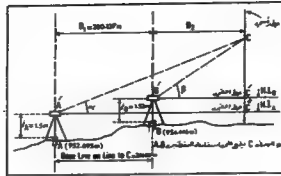
وعليه فإن منسوب رأس المنئنة يساوي متوسط القيمتين المحسوبتين من المحطتين A,B أي :

$$\text{Reduced Level of } C = \frac{1020.427 + 1020.402}{2}$$

$$\text{Reduced Level of } C = 1020.415m$$

مثال رقم 7-2-

لتعيين منسوب الهدف C ، كشكل (7-10) استعين بالنقطة A ذات المنسوب 925.695m حيث ثبت جهاز التيونوليت فوقها وعلى ارتفاع i_A يساوي 1.50m وقيست الزاوية الرأسية α بين الهدف ومركز الجهاز A' فوجدت مساوية $5^\circ 20' 10''$ بسبب تعذر قياس المسافة الأفقية بين النقطة A والهدف C ، نقل الجهاز وثبت على ارتفاع 1.52m فوق نقطة أخرى B منصوبها 954.006 وتقع على استقامة أو نفس اتجاه الخط AC (أي أن B تقع على نفس المستوى الرأسى المار بالنقطة A والهدف C) . بعد ضبط الجهاز قيس الزاوية الرأسية β بين نفس الهدف C ومركز الجهاز B فوجدت مساوية $6^\circ 10' 30''$ فإذا علمت أن المسافة الأفقية بين موقعي الجهاز A,B بلغت 200.137m فكم يكون منسوب الهدف C ؟



الشكل رقم-10-7-

الحل :

دعنا نرمز أولاً للمسافة الأفقية AB بـ D_1 والمسافة الأفقية BC بـ

D_2

من الشكل (10-7) لدينا :

$$CC' = D_2 \cdot \tan \beta$$

$$D_2 = \frac{CC'}{\tan \beta}$$

$$CC' + C'C'' = (D_1 + D_2) \tan \alpha$$

ولدينا أيضاً
وعليه

$$CC' + C'C'' = (D_1 + \frac{CC'}{\tan \beta}) \tan \alpha$$

$$CC' - (\frac{CC'}{\tan \beta}) \tan \alpha = D_1 \tan \alpha - C'C''$$

$$CC' (1 - \frac{\tan \alpha}{\tan \beta}) = D_1 \tan \alpha - C'C''$$

$$CC' = \frac{D_1 \tan \alpha - C' C''}{1 - \frac{\tan \alpha}{\tan \beta}}$$

ان $C'C''$ تعبر عن فرق المنسوب بين خط النظر الأفقي المار
بمركز الجهاز B' وخط النظر الأفقي المار بمركز الجهاز A' ، أي أن :

$$C' C'' = H.I. B - H.I. A$$

حيث نرمز $H.I. A$ إلى منسوب خط النظر الأفقي المار بمركز الجهاز A'
ونرمز $H.I. B$ إلى منسوب خط النظر الأفقي المار بمركز الجهاز B' وبالتالي :

$$C' C'' = (i_B + R.L. \text{ of } B) - (i_A + R.L. \text{ of } A)$$

$$C' C'' = (1.52 + 954.006) - (1.5 + 952.695) = 1.331 \text{ m}$$

(وبالتقريب)

$$D_1 = 200.137 \text{ m}$$

$$\tan \alpha = \tan 5^\circ 20' 10'' = 0.0934029$$

$$\tan \beta = \tan 6^\circ 10' 30'' = 0.1081933$$

وعليه :

$$C' C' = \frac{200.137(0.0934029) - 1.331}{1 - \frac{0.0934029}{0.1081933}}$$

$$CC' = \frac{17.362376}{0.1367034} = 127.008 \text{ m}$$

الآن منسوب الهدف C يساوي :

$$R.L. \text{ of } C = H.I. A + CC' = H.I. A + CC' + C' C''$$

$$R.L. \text{ of } C = (1.5 + 952.695) + 127.008 + 1.331$$

$$R.L. \text{ of } C = 1082.534 \text{ m}$$

أو :

$$R.L. \text{ of } C = H.I. B + CC'$$

$$R.L. \text{ of } C = (1.52 + 954.006) + 127.008$$

$$R.L. \text{ of } C = 1082.534 \text{ m}$$

مثال رقم 3-7-

في الشكل (5-7) المطلوب إيجاد منسوب (R.L) للنقطة B إذا علمت أن منسوب النقطة A يساوي 102.654m ، المسافة الأفقية D بين النقطتين A,B تساوي 305.15m ، الزاوية السميتية Z تساوي $62^{\circ} 20'$ ارتفاع جهاز الرصد فوق النقطة A يساوي : $i=1.56m$ وارتفاع الهدف المرصود فوق النقطة B يساوي $t=1.50m$.

الحل:

$$\begin{aligned} \text{R.L. of B} &= \text{R.L. of A} + D \cdot \tan (90^{\circ} - Z) + (i - t) \\ \text{R.L. of B} &= 102.654 + 305.125 \tan (90^{\circ} - 62^{\circ} 20' 30'') + (1.56 - 1.5) \\ \text{R.L. of B} &= 102.654 + 159.911 + 1.56 - 1.5 \\ \text{R.L. of B} &= 262.625m. \end{aligned}$$

مثال رقم 4-7-

في الشكل (6-7) المطلوب إيجاد منسوب (R.L) للنقطة A إذا علمت أن منسوب النقطة B يساوي : 1136.359m وأن المسافة الأفقية D بين النقطتين A,B تساوي : 175.193m ، الزاوية السميتية Z تساوي : $115^{\circ} 10' 30''$ ، ارتفاع جهاز الرصد فوق النقطة B يساوي : 1.50m.

الحل :

$$\begin{aligned} \text{R.L. of B} &= \text{R.L. of A} - D \tan (Z - 90^{\circ}) + (i - t) \\ 1136.359 &= \text{R.L. of A} - 175.193 \tan (115^{\circ} 10' 30'' - 90^{\circ}) + (1.58 - 1.5) \\ 1136.359 &= \text{R.L. of A} - 82.346 + 0.08 \\ \text{R.L. of A} &= 1218.625m \end{aligned}$$

مثال رقم 5-7-

في الشكل (8-7) المطلوب إيجاد منسوب (R.L.) النقطة B إذا علمت أن منسوب النقطة A يساوي 810,165m ، المسافة الأفقية D بين النقطتين A,B تساوي 1620,683m الزاوية السميتية Z تساوي : $61^{\circ} 39' 30''$ ، ارتفاع الجهاز فوق النقطة A يساوي : $i=1.5m$ وارتفاع الهدف المرصود فوق النقطة B يساوي : $t=1.65m$.

الحل :

$$R.L. \text{ of } B - R.L. \text{ of } A = D \cdot \tan (90^{\circ} - Z) + (i - t) + (h_c - h_r)$$

$$R.L. \text{ of } B = 810.165 + 1620.683 \tan (90^{\circ} - 61^{\circ} 39' 30'') + (1.5 - 1.65) + 0.0673(1.620683)^2$$

$$R.L. \text{ of } B = 1684.36m$$

لاحظ أن المقدار $(h_c - h_r)$ يساوي $0.0673D^2$ حيث D تمثل المسافة الأفقية بين الجهاز والهدف بالكيلومتر .

مثال رقم 6-7-

في الشكل (9-7) المطلوب إيجاد منسوب النقطة B إذا علمت أن منسوب النقطة A يساوي 810.165 ، المسافة الأفقية D بين النقطتين A,B تساوي : 1620.683 ، الزاوية السميتية Z تساوي : $118^{\circ} 20' 30''$ ، ارتفاع الجهاز فوق النقطة A يساوي : $i=1.50m$ وارتفاع الهدف المرصود فوق النقطة A يساوي : $t=1.65$

الحل :

$$R.L. \text{ of } B - R.L. \text{ of } A = D \cdot \tan (Z - 90^{\circ}) + (i - t) + (h_c - h_r)$$

$$R.L. \text{ of } B = 810.165 + 1620.683 \tan (118^{\circ} 20' 30'' - 90^{\circ}) + (1.5 - 1.65) + 0.0673(1.620683)^2$$

$$R.L. \text{ of } B = 810.165 - 874.16878 - 0.15 + 0.17677$$

$$R.L. \text{ of } B = - 63.98m$$

ملحوظات :

لقد أهملنا في حساب الأمثلة عدا المثالين (5-7)، (6-7) تأثير انحناء الأرض (Earth Curvature) وانكسار الأشعة (Refraction) بافتراض أن خطوط القياس أو النظر (Lines of Sight) قصيرة إذ لا يتعدى هذا التأثير مقدار 7 cm في خط نظر طوله كيلومتر واحد . على كل حال إذا أريد أخذ هذا التأثير بعين الاعتبار فيكفي أن نضيف إلى المنسوب المحسوب للنقطة المرصودة المقدار : $0.0673 D^2 m$ باعتبار D المسافة الأفقية لخط الرصد أو النظر بالكيلومتر . على سبيل المثال إذا كان طول المسقط الأفقي (أو المسافة الأفقية) لخط النظر الواصل بين جهاز الرصد والهدف مساوياً 1 km فإن تأثير انحناء الأرض وانكسار الأشعة يساوي :

$$0.0673(1)^2 = 0.06773m = 7 \text{ cm}$$

وهذا هو المقدار الواجب إضافته إلى المنسوب المحسوب للهدف .

لاحظ أن تأثير الانكسار وانحناء الأرض معا (Combined Effect) يضاف دائماً ولا يطرح.

يمكن للتغلب على تأثير الانكسار وانحناء الأرض بأن يجري الرصد من كلا النقطتين (أي من طرفي خط النظر) في أن واحد ثم أخذ معدل الزوايا الرأسية المقيسة من تلك النقطتين . ولتعزيز القيام بذلك في جميع الأحوال ، يجب إجراء التصحيح اللازم حسب شروط العمل ومتطلباته .

مسائل

(1-7) اذكر العوامل التي تؤثر في دقة المناسيب المستخرجة بطريقة التسوية المثلثية ؟

(2-7) في أي الأحوال يمكن إهمال تأثير انحناء الأرض وانكسار الأمعة في حساب مناسيب النقاط الأرضية بطريقة التسوية المثلثية ؟

(3-7) إذا كانت الزاوية النظرية (η) تساوي (4.12) راديان (Radian) فكم يكون مقدار الزاوية لسمتية في كلا النظامين الستيني والمتوي ؟

(4-7) بفترض أن نقطة الرصد هي (A) والهدف المرصود هو (C) ويقع رأسياً فوق نقطة معينة (B) وكذلك :

$$i=1.60m, t=0.57m$$

$$S=117.025m, \eta = 32^\circ$$

$$R.L. \text{ of } A = -132.623m$$

المطلوب حساب منسوب النقطة (B)

(5-7) بفترض أن نقطة الرصد هي (A) والهدف المرصود هو (C) ويقع رأسياً فوق نقطة معينة (B) وكذلك :

$$i=1.55m, t=0.60m, h_c - h_r = 0.15m$$

$$Z=113^\circ, S = 71.654m$$

$$R.L. \text{ of } B = 63.125m$$

المطلوب حساب منسوب النقطة (A)

(6-7) إذا كان طول المسقط الأفقي لخط النظر الواصل بين جهاز الرصد والهدف مساوياً 0.5Km فكم يكون مقدار تأثير انحناء الأرض ؟

(7-7) يفترض المعلومات الواردة في المسألة (6-7)، المطلوب حساب مقدار تأثير انحناء الأرض وانكسار الأشعة معا؟

(8-7) كيف يمكن التغلب على تأثير انكسار الأشعة وانحناء الأرض ؟

(9-7) انكر خمسة مجالات يحتاج فيها المهندس إلى إجراء التسوية المثلثية ؟

(10-7) هل يمكن اللجوء إلى التسوية المثلثية في مشاريع تقنية الري ؟
علل ذلك ، متى نلجأ إلى أعمال التسوية المثلثية في مشاريع الري ؟

(11-7) ما هي الفروق الأساسية بين مشاريع الطرق ومشاريع تقنية الري
من حيث استخدامات التسوية المثلثية ؟

- 8 -

- الفصل الثامن -

أعمال التسوية للمقاطع الطولية والعرضية

**PROFILE AND CROSS-
SECTION LEVELLING**

8- أعمال التسوية للمقاطع الطولية والعرضية

Profile and Cross – Section Levelling

1-8 مقدمة (Introduction)

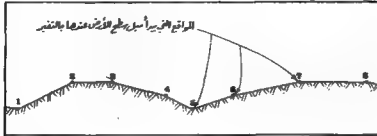
في مشاريع الطرق ولقنية الري وتمديدات شبكات المياه والمجاري وخطوط السكك الحديدية وغيرها ، يلزم بيان طبيعة أو تضاريس سطح الأرض في اتجاه معين وذلك لفلايات التصميم وحساب الكميات وأغراض أخرى . من أجل ذلك يجري أولاً تحديد مواقع النقاط على الاتجاه المفروض أو المعطى ليصل إلى قياس مناسيبها . تتفاوت المسافة بين نقطة وأخرى (على الاتجاه المفروض) وذلك حسب طبوغرافية الأرض والغرض من المشروع أو درجة الدقة المطلوبة . على كل حال ، أن دور المصاح يقتصر هنا على قياس مناسيب النقاط التي تم اختيارها أو تحديد المسافات بينها من قبل المهندس المصمم أو المختص . ليس من الضروري أن تقع النقاط المراد قياس مناسيبها على خط واحد أو اتجاه واحد بل ربما تقع على عدة خطوط مستقيمة أو منحنية أو مستقيمة ومنحنية معاً كما هو الحال في مشاريع الطرق والسكك الحديدية ولقنية الري على سبيل المثال . من الضروري قبل البدء في قياس مناسيب النقاط المختلفة على محور مشروع معين ، أن نبحث عن علامة منسوب دقيقة بالقرب من بداية المشروع كي نستند عليها في حساب المناسيب . كذلك من المفيد جداً أن نبحث عن علامات مناسيب أخرى تقع على مقربة من محور المشروع وذلك لفلايات التفريق على صحنه المناسيب المصوبة . إذا لم توجد علامات مناسيب أخرى بجوار المشروع فيكتفى بالبحث عن علامة منسوب واحدة بالقرب من نهاية المشروع واستخدمها في عملية التفريق أو التحقق من صحنه المناسيب .

سنبين في الفقرة التالية الخطوات الضرورية لعمل المقاطع الطولية وخاصة لمحور طريق تمّ تحديد اتجاهات أجزائه المختلفة بشكل مسبق وصب التخطيط المقترح ، [51م]

2-8- خطوات عمل مقطع طولي لمحور طريق ما مقترح

- 1- يجري التعرف إلى نقطة بداية المشروع ليتم تحديدها جيدا في الطبيعة .
- 2- ننشئ علامة منسوب (B.M.) دائمة أو مؤقتة قرب نقطة بداية المشروع كسي نستند إليهما في حساب مناسيب النقاط المختارة على طول محور مشروع الطريق.
- 3- نختار موقعا ثابتا مشرفا لجهاز التسوية (Level) قرب علامة المنسوب المعلومة أو المفروضة الارتفاع .
- 4- تثبت المسطرة رأسيا فوق علامة المنسوب وترصد من جهاز التسوية بعد ضبطه تماما وتسجل القراءة في عمود القراءات الخلفية . بمعرفه القراءة الخلفية هذه وارتفاع علامة المنسوب يصب منسوب خط النظر أو ارتفاع الجهاز (H.I.) .
- 5- تحرك المسطرة إلى نقطة بداية المشروع وإلى نقاط أخرى محددة سلفا أو يجري اختيارها عند مواقع تغير المول (الانحدار) في سطح الأرض على الاتجاه أو المحور المعبر ، شكل (8-1) ، من الواضح أنه إذا أمكن رصد هذه النقاط من نفس الموقع السابق للجهاز فتسجل القراءات في عمود القراءات المتوسطة وإذا تعذر الرصد من نفس موقع الجهاز السابق لنقاط أخرى فأنه يجري اختيار نقطة تحول إما على موقع صلب ثابت بجوار محور الطريق أو باعتماد نقطة مناسبة على نفس المحور . من المفضل أن تكون نقطة التحول واقعة على خط المشروع (المحور) نفسه .
- 6- تنقل المسطرة إلى نقطة التحول المناسية وتتخذ عليها القراءة وتسجل في عمود القراءات الأمامية ويغطي الإيماز لحامل المسطرة بالثبات في نقطة التحول هذه .
- 7- ينقل الجهاز إلى موقع مشرف مناسب جديد وبعد ضبطه تؤخذ القراءة على المسطرة فوق نقطة التحول وتسجل في عمود القراءات الخلفية .
- 8- تحرك المسطرة إلى نقطة أو مجموعة نقاط أخرى محددة أو تحدد على محور الطريق وتتخذ القراءات عليها وتسجل في عمود القراءات المتوسطة وإذا

تُحذف رصد نقطت أخرى من نفس موقع الجهاز الحالي فيجري اختيار نقطة تحول جديدة بجوار محور الطريق أو باختيار نقطة مناسبة على المحور ذاته .



شكل (8-1-) مواقع التقاط التي يجري قياس مناسبتها لرسم المقطع الطولي لجزء من محور مشروع معين .

9- تنقل المسطرة إلى نقطة التحول الجديدة وتؤخذ عليها القراءة وتسجل في عمود للقراءات الأمامية ويعطى الإيعاز لحامل المسطرة بالثبات في نقطة التحول هذه.

10- ينقل الجهاز إلى موقع مشرف مناسب جديد وتستمر العمل بنفس الأسلوب إلى أن يجري رصد آخر نقطة من محور الطريق .

11- بعد رصد النقطة الأخيرة من محور الطريق تستمر بالعمل حتى الوصول إلى علامة منسوب قريبة أخذين بعين الاعتبار أنه لن تكون حاجة الآن إلا إلى قراءات أمامية وأخرى خلفية على نقطت تحول يجري اختيارها يبين نقطة نهاية المشروع ونقطة علامة منسوب قريبة بهدف التحقق من صحة المناسيب المقاسة كما مر معنا آنفاً .

ملحوظات :

أ- يراعى أن تكون المواقع المختارة لتثبيت الجهاز مشرفة بحيث تمكن من رصد أكبر عدد ممكن من التقاط على محور المشروع .

ب- يجب تحديد ووصف نقاط التحول بشكل جيد وعمل كروكي لكل منها كي يمكن الرجوع إليها بسهولة وإجراء التنقيح اللازم إذا لزم الأمر .

كذلك يفضل أن تنشأ نقاط التحول على يمين أو يسار محور المشروع بحيث لا تتعرض لأعمال الحفريات والردميات التي ستجري على المشروع .

ج- تحدد المسافة الجزئية بين نقطة وأخرى على محور الطريق بناء على تضاريس سطح الأرض ودرجة الدقة المطلوبة . تتراوح هذه المسافة عادة بين 10-50m وأن كان المقدار 20-30m هو السائد عملياً .

د- تسجل في عمود خاص من جدول قياس الارتفاعات ، المسافة بين نقطة بداية محور الطريق وكل نقطة من النقاط المختارة والمقاس منسوبها على محور الطريق . يطلق على المسافة التراكمية أو الكلية من بداية المحور حتى النقطة المعتبرة بـ (Chainage) .

هـ- تسجل في عمود خاص من جدول قياس الارتفاعات ، الاتجاهات الأمامية والخلفية لمختلف أجزاء الطريق . أن هذا البند ليس ضرورياً في عمل المقاطع الطولية إذ يمكن تنفيذه في مرحلة سابقة مستقلة خاصة عند تحديد مسار الطريق .

و- من المفضل أثناء عمل المقاطع الطولية ، تحديد مواضع التفاصيل الهامة (كالوديان والأنهار والطرق والممرات المختلفة) التي قد تقطع محور المشروع.

ز- يجب قراءة المسطرة على علامات المناسيب ونقاط التحول بدقة فائقة ولأقرب مليمتراً ولحد . أما النقاط المتوسطة فيكفي أخذ القراءة لأقرب مستقيم ولحد .
ح- لا تنس أن يكون بعد الجهاز عن نقطة القراءة الأمامية مساوياً تقريباً لبعد الجهاز عن نقطة القراءة الخلفية وكذلك أن لا تزيد هذه المسافة (إسـول خط النظر) عن مئة متر تقريباً .

ط- ينقل جهاز التسوية من موقع لآخر لسببين رئيسين : المحب الأول عندما لا تسمح تضاريس الأرض برؤية المسطرة والسبب الثاني عندما تزيد مسافة خط النظر (المسافة بين الجهاز والمسطرة) عن مئة متر تقريباً .

ي- تؤكد أن قاعة التسوية وسط مجراها عند رصد المبطرة في كل نقطة من النقاط وخاصة عند أخذ القراءات الأمامية والخلفية .

ق- إذا كانت هناك علامة منسوب (B.m.) دائمة وقريبة من نهاية المقطع الطولي للمشروع فيجب الاستمرار في قياس الارتفاعات حتى الوصول لتلك النقطة وذلك للتحقق من صحة العمل وهنا يجب أن يكون الفرق بين مجموع القراءات الخلفية والقراءات الأمامية متفقاً مع الفرق بين ارتفاعي علامتي المنسوب الدائمتين الأولى والأخيرة ضمن الحدود المسموحة للخطأ والذي مر معنا سابقاً ، أي :

مجموع القراءات الخلفية - مجموع القراءات الأمامية = ارتفاع علامة المنسوب الأخيرة - ارتفاع علامة المنسوب الأولى ± مقدار الخطأ المسموح .

أما إذا لم تكن هناك علامة منسوب دائمة وقريبة من نهاية المقطع الطولي للمشروع فيفضل أن يتم تحقيق صحة العمل من خلال العودة ثانية إلى علامة المنسوب الأولى .

نلاحظ هنا أنه إذا كان المقطع الطولي طويلاً فإن عملية التحقيق هذه ستكون مرهقة لذلك وفي مثل هذه الحالة يجري تقسيم المقطع الطولي إلى أجزاء مستقلة الطول ومن ثم أجزاء للتحقيق على كل جزء مباشرة بعد إتمام قياس ارتفاعات نقاطه وقبل البدء بقياس ارتفاعات الجزء الذي يليه . كما أنه يمكن أن تقتصر عملية التحقيق هذه على قياس ارتفاعات نقاط التحول الممتدة بين نهاية الجزء وبدايته .

ل- في الحالة التي يكون فيها محور الطريق طويلاً ولا تتوفر علامات مناسبة بالقرب منه لإجراء التحقيق اللازم ، فينصح باللجوء إلى استخدام نقاط تحول مضاعفة أي يجري اختيار نقطتي تحول قريبتين من بعضهما بدلاً من نقطة تحول واحدة وبالتالي فإنه يجري أخذ قراءتين أماميتين وقراءتين خلفيتين من كل موقع جديد للجهاز . باختيار نقطتي تحول بدلاً من نقطة واحدة كلما احتلج الأمر إلى تغيير موقع الجهاز ، يمكن صواب مصوب خط النظر مرتين باستخدام قراءات مختلفة . أن تطابق القيمتين أو الاختلاف بمقدار بسيط يطمع

في مجال الخطأ المسموح يعني صحة العمل وفي حالة عدم التطابق أو الاختلاف الكبير فيجري إعادة القياسات . لأخذ أنه يمكن باستخدام هذه الطريقة التحقق من صحة العمل أولاً بأول وبشكل يوازي تقدم العمل .
شكل (2-8) ، وجدول (1-8) يبين مثلاً على طريقة أجزاء القياسات وتدوينها وحساب المناسيب الخاصة بمقطع لمحور طريق معين .

1-2-8- رسم المقطع الطولي :

لرسم المقطع الطولي يمكن اتباع الخطوات التالية :

1- نختار مقياساً مناسباً للمسافات الأفقية بين مختلف نقاط المقطع ومقياساً آخر لتمثيل ارتفاعات النقاط . حيث أن الغاية هي بيان وتوضيح شكل الأرض على طول المقطع وأن فروق الارتفاعات بين النقاط هي في الغالب أقل من المسافات الأفقية بينها ، لذا فإن المقياس الرأسي (لتمثيل ارتفاعات النقاط) يؤخذ عادة أكبر من المقياس الأفقي بعشرة أضعاف (أحياناً خمسة أضعاف فقط) . من المقاييس الأفقية المناسبة :

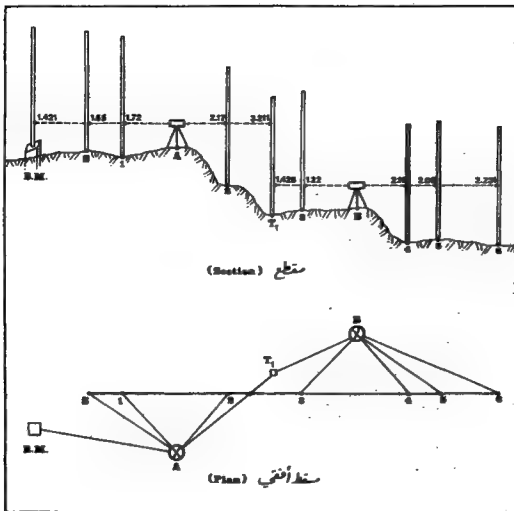
1 : 2000 , 1 : 1000 , 1 : 500

ومن المقاييس الرأسية المناسبة :

1 : 200 , 1 : 100 , 1 : 50

2- نرسم في موقع مناسب على لوحة خاصة (ورق مليمتري) خطاً أفقياً ليكون بمثابة مرجع لرسم ارتفاعات النقاط المختلفة ويفضل إعطائه قيمة مناسبة بحيث يكون بعد أي نقطة من نقاط المقطع الطولي (بعد رسمها) عن هذا الخط ما بين 20-25 سم تقريباً ، شكل (3-8) .

3- نرسم خطاً أفقياً ثانياً أسفل الخط المرجعي المذكور أعلاه ونحدد عليه (بمقياس الرسم الأفقي المختار) مواقع نقاط المقطع الطولي . يكتب بجوار كل نقطة على هذا الخط وبشكل أفقي مقدار المسافة الأفقية بينها وبين نقطة بداية المشروع . كذلك نكتب بجوار كل نقطة وبشكل عمودي ارتفاعها كما ورد في جدول التسوية.



شكل 2-8- قياس ارتفاعات نقاط على جزء مستقيم من محور طريق مقترح
بفرض رسم المقطع الطولي له ، [م 51] .

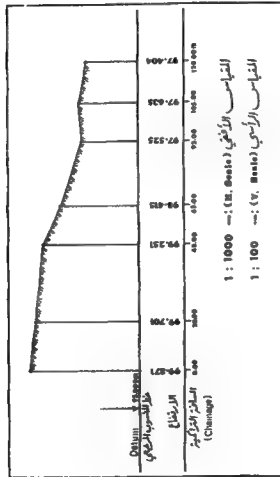
4- بمعرفة ارتفاع كل نقطة يجري الآن رسم مواقع هذه النقاط في الاتجاه العمودي على خط المسافات ونصل بين كل زوج من هذه النقاط فيشكل لدينا الخط الممثل لشكل الأرض وفق محور الطريق أو المشروع المعتبر .

Point No.	Distance or Chainage (m)	B. S. (m)	I. S. (m)	F. S. (m)	H. I. (m)	R. L. (m)	Remarks
B. M.		1.421			101.421	100	Bench Mark, 100 m above M. S. L.
S	00.00		1.55			99.871	نقطة برلين محور الطريق
1	20.00		1.72			99.701	نقطة على محور الطريق
2	48.00		2.17			99.251	نقطة على محور الطريق
T ₁		1.425		3.211	99.635	98.210	نقطة تحول بمحور الطريق
3	65.00		1.22			98.45	نقطة على محور الطريق
4	92.00		2.11			97.525	نقطة على محور الطريق
5	103.00		2.00			97.635	نقطة على محور الطريق
6	120.00			2.231		97.404	نقطة على محور الطريق
		2.846		5.442			

جدول رقم 8-1- أحد التماذج لتكوين القراءات وحساب المناسيب لأعمال المقطع الطولية .

ملحوظات :

أ- استناداً إلى المقطع الطولي المرسوم ببناء على المسافات الأفقية والارتفاعات للمقيمة حقلياً ، يقوم المهندس للمصمم برسم محور الطريق أو المشروع المعتبر وفق الميول الفعلية التي سيأخذها عند انتهاء التنفيذ . بهذا يمكن معرفة عمق الحفر أو الردم اللازم عند كل نقطة من محور المشروع .



شكل 8-3- رسم المقطع الطولي لجزء من محور طريق

2-2-8- فوائد عمل المقاطع الطولية

من أهم الفوائد السلبية لأعمال المقاطع الطولية ما يلي :

أ- تعين مهندس التصميم على اختيار أفضل الميول والمناسيب لأجزاء الطريق أو المشروع المزمع تنفيذه .

ب- معرفة أعناق الحفر والردم اللازمة عند أي نقطة من خط المشروع .

ج- معرفة أماكن تقاطع خط التصميم مع سطح الأرض الطبيعية (Intersection of Gradients) ، أي مواقع النقاط التي لا يحصل فيها حفر أو طم .

د- للكشف عن إمكانية رؤية المواقع المحيطة والبعيدة من نقاط معينة . أن هذا يفيد في كثير من الأغراض العسكرية والعمرائية حيث تحدد المواقع المخفية والمواقع المرئية بالنسبة لمنشآت معينة أو نقاط رصد محددة (مواقع مدفعية على سبيل المثال) .

3-8- أعمال التسوية للمقاطع العرضية

(Cross - Section Levelling)

1-3-8- مقدمة (Introduction)

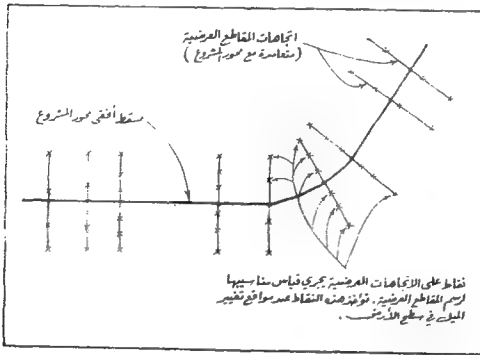
كثيراً ما يلزم معرفة تضاريس سطح الأرض ليس فقط عند نقاط محددة من محور المشروع ولكن عند نقاط على يمين ويسار هذا المحور أيضاً . من أجل هذا ، يجري قياس مناسيب نقاط مختارة على اتجاهات متعامدة مع محور المشروع ، شكل (5-8) . يطلق على هذه الاتجاهات العرضية كما يطلق على المقاطع المأخوذة وقتها بالمقاطع العرضية . تتباعد المقاطع العرضية عن بعضها بحسب طبيعة الأرض ودرجة الدقة المطلوبة إلا أنها تتراوح في الغالب بين 10-50m أما مسافة امتداد المقطع العرضي على يمين ويسار محور المشروع فتتبع أيضاً طبيعة الأرض ونوع المشروع وغايته . تحدد اتجاهات المقاطع العرضية بالعين المجردة والتقدير الشخصي أو باستخدام الموشور المرئي (اليرزما) ونوبات أخرى بسيطة متنوعة وخاصة إذا كانت أطوال هذه المقاطع

محدودة (بضعة عشرات من الأمتار) ، ولكن في حالات المقاطع العرضية الطويلة وحالات المشاريع الدقيقة (كالجسور والأنفاق على سبيل المثال) فيستعان بأجهزة وأدوات دقيقة كالتبؤدوليت وغيره . لرصد النقاط وإجراء عملية قياس المناسبة يمكن تثبيت جهاز التسوية في نفس المواقع التي جرى اختيارها لرصد نقاط المحور الطولي .

على كل حال . يجب أن تكون محطات الرصد في مواقع ثابتة ومشرفة بحيث يمكن رصد أكبر عدد ممكن من النقاط وضمن أطوال خطوط النظر المسموح بها.

2-3-8- خطوات عمل المقاطع العرضية لمشروع طريق معين :

لإجراء عملية القياس باستخدام جهاز التسوية (Level) يمكن اتباع الخطوات التالية ، [م 51] :



شكل 5-8- مسقط أفقي يبين محور مشروع والاتجاهات المقاطع العرضية المتعلدة عليه .

- 1- تحدد اتجاهات المقاطع العرضية عند النقاط المختارة أصلاً لتمثيل المقطع الطولي (نقاط التغير في ميل سطح الأرض على طول محور المشروع).
- الاتجاهات العرضية هذه تتعامل مع محور المشروع .
- 2- توضع إشارات أو علامات (دهان معين) على نقاط مختارة من الاتجاه العرضي المحدد وذلك على يمين ويسار محور المشروع وبتباعدات تتراوح بين 2-10m حسب طبيعة الأرض ودرجة الدقة المطلوبة . تختار هذه النقاط عادة عند كل تغير ملموس في ميل سطح الأرض .
- 3- يثبت جهاز التسوية في موقع مشرف ومناسب ويهيا لعملية الرصد .
- 4- توضع المسطرة فوق نقطة قريبة ومطومة الارتفاع (B.M.) كل تكون نقطة تحول مناسبة أو علامة منصوب دائمة أو مؤقتة جرى استخدامها في عمل المقطع الطولي سابقاً ، ثم تؤخذ القراءة عليها وتسجل في عمود للقراءات الخلفية في دفتر التسوية للخاص .
- 5- تنتقل المسطرة إلى النقاط المختلفة على يمين ويسار المقطع العرضي الأول وتؤخذ للقراءات عليها وتسجل في الأعمدة المخصصة لها . كذلك تنتقل المسطرة إلى نقاط أخرى من مقطع عرضي جديد إذا كانت طبوغرافية الأرض تسمح بذلك (أي يمكن رصد المسطرة من نفس موقع الجهاز الحالي) وكانت خطوط النظر بأطوال معقولة لا تتجاوز المئة متر .
- 6- إذا تعذر رصد المسطرة من الموقع الحالي للجهاز أو إذا أصبحت خطوط النظر طويلة ، تنتقل عندها المسطرة إلى نقطة تحول مناسبة وتؤخذ عليها قراءة أمامية ثم ينقل الجهاز إلى موقع جديد بينما تبقى المسطرة ثابتة على نقطة التحول .
- 7- بعد ضبط جهاز التسوية في الموقع الجديد المناسب ، ترصد المسطرة المثبتة فوق نقطة التحول وتؤخذ عليها قراءة خلفية .
- 8- تنتقل المسطرة إلى نقاط جديدة على نفس المقطع العرضي الحالي أو على مقطع عرضي جديد وتتابع العمل بنفس الأسلوب .

347

ملحوظات :

- يمكن التحقق على أعمال المقاطع العرضية بالاستعانة بالمناسيب المقيمة لنقاط المقطع الطولي وينقاط التحول المستخدمة سابقاً أو بعلامات مناسيب قد تكون متوفرة بجوار محور المشروع .

Cross -- Section No.	Point No.	Distance (m)	B. S. (m)	I. S. (m)	F. S. (m)	H. I. (m)	R. L. (m)	Remarks
1 R Chainage 00.00 m								1R. نقيضات الجسر الأيسر من النطاق العرضي رقم 1.
	C	0.00	2.429			103.421	103.701	منقلة على محور المشي مرفوعة للمسبب
	a	3.50		3.11			100.071	
	b	8.00		1.96			104.171	
	c	12.00		2.42			103.701	
	d	15.00		1.70			101.421	
1 L Chainage 00.00 m								1L. نقيضات الجسر الأيسر من النطاق العرضي رقم 1.
	a'	4.00		2.23			100.801	
	b'	9.00		2.11			100.071	
	c'	14.00		2.90			99.421	
	d'	19.00		2.90			100.221	
	e'	24.00		2.73			100.301	
	T ₁				2.713		100.000	منقلة نهائية محور الطريق

دول رقم 8-2- نموذج لترتيب القراءات وبيان المسافات وحساب المناسيب لنقاط
مقطع عرضي .

Station or Chainage	B.S. (m)	H.I. (m)	F.S. (m)	R.L. (m)	Route 24	Cross - Section	Note
							Oct. 8, 1983
B. M. 1	1440	714.871		713.483			
T. P.	2100	713.910	0.948	713.923			
300					Left	3.0m	Right
					1.38	1.76	1.88
					714.14	713.78	713.66
315					1.83	2.10	2.32
					713.37	713.39	713.24
330					1.80	1.25	1.44
					714.32	714.36	714.06
345					0.84	0.32	1.02
					714.68	714.39	714.44
T. P.			1.230	714.389			

H.I. - Staff Reading = 713.319 - 0.84 = 714.319 ≈ 714.40

جدول رقم 3-8. نموذج آخر لترتيب القراءات وبيان المسافات وحساب المناسيب في أعمال المقطع العرضية .

• يجب تسجيل بعد كل نقطة من المقطع العرضي عن محور المشروع وبيان موقعها إن كانت على يمين أو يسار هذا المحور . كذلك يجب تسجيل رقم

المقطع العرضي ذي العلاقة (أي بيان تدرجه أو محطاته Station or Chainage) .

* ليس من الضروري أن تؤخذ المقاطع العرضية عند النقاط الخاصة بعمل المقطع الطولي لمحور المشروع ولكن في جميع الأحوال تؤخذ هذه المقاطع عند نقاط تغير الميل بشكل محسوس في سطح الأرض وعلى طول محور المشروع.

* ليس من الضروري أن يمتد المقطع العرضي على يمين محور المشروع بنفس المسافة التي يمتد على الطرف الأيسر فكتيراً ما يكون للعامل الطبوغرافي الدور الأساسي في ذلك .

* يمكن أخذ مقاطع عرضية غير متعامدة مع محور الطريق بل تشكل زاوية ما وهذا ما يحدث عند وجود وديان أو حروف (خطوط التقاء المطوح أو السفوح المتجاورة) تقطع محور المشروع في زوايا غير قائمة . هنا لا بد أن تكون اتجاهات المقاطع العرضية وفق اتجاهات محاور هذه الوديان والتفاصيل وتطبيق عليها . يجب بيان مواقع واتجاهات هذه التفاصيل الهامة (القاطعة لمحور المشروع) على المسقط الأفقي للمقطع الطولي بدقة ووضوح .

* في حالة الأراضي شديدة الانحدار وحيث يتوجب نقل جهاز التسوية بصورة متكررة بسبب عائق الرؤية ، فإنه ينصح باستخدام جهاز ثيودوليت وشريط ومسطرة مدرجة بدلاً من جهاز التسوية (Level) . إن طريقة استخدام هذه الأدوات (الثيودوليت والشريط والمسطرة) في قياس مناسيب نقاط المقاطع العرضية الواقعة في الأراضي المنتظمة والشديدة الانحدار ، سهلة وتترك للطلاب كتدريبات .

* يمكن وفي حالات كثيرة استخدام الصور الجوية في اشتقاق مناسيب نقاط المقاطع العرضية المختلفة . إن هذا الأمر يعتمد على درجة الدقة المطلوبة وعلى مقياس الصور المستخدمة بالإضافة إلى الأجهزة المستخدمة في عملية تجسيم الصور وطرق التعديل والحساب .

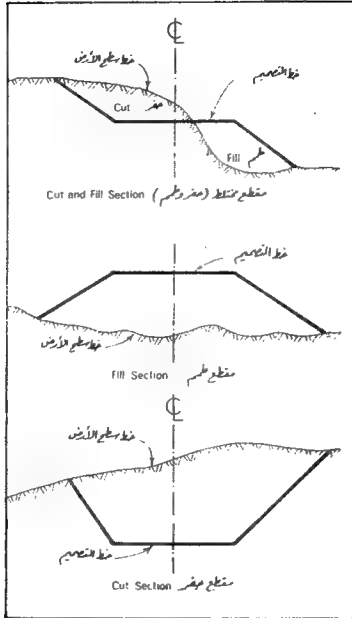
* يمكن أن تتم أعمال المقاطع العرضية والطولية في آن واحد أو على انفراد ويترك للفريق العامل في الميدان في ضوء المسطبات والتسهيلات المتوفرة .

* في أثناء عملية القياس باستخدام جهاز التسوية يفضل أن يمسك حامل المسطرة (Staffman) طرف الشريط عند التدرج صفر وفي الوقت نفسه يثبت المسطرة عند نقاط تغير الميل في سطح الأرض باتجاه المقطع العرضي المعتبر بينما يقوم مساعده بتوجيه وشد الشريط وقراءة تدرج الشريط عند التقائه بمحور المشروع ثم إعطاء المسافة المقيمة (بعد نقطة المقطع العرضي المعتبرة عن محور المشروع والمساوية لتدرج الشريط عند التقائه بمحور الطريق أو المشروع) إلى مسجل القياسات .

* ليس من الضروري قياس مناسب جميع نقاط المقطع العرضي الواحد من محطة واحدة للجهاز إذ ربما لا تسمح طوبوغرافية المنطقة بذلك . في هذه الحالة يمكن رصد أكبر عدد ممكن من النقاط وإن وقعت على مقاطع عرضية متعددة شريطة عدم الوقوع في أخطاء عند تسجيل مواقع هذه النقاط والقراءات الصحيحة المقابلة لها . عملياً يؤكد أن في هذا الأمر بعض الإرباك والتشويش .

* بمعرفة مناسب أو تدرجات سطح الأرض في اتجاهات المقاطع العرضية وبمعرفة المناسب المصممة اللازم تحقيقها في أثناء تنفيذ المشروع يمكن حساب المساحة بين خط التصميم وخط سطح الأرض ، شكل (5-7) . بعد حساب مساحة كل مقطع عرضي يمكن بسهولة حساب حجم الحفر أو الردم بين كل اتجاهين عرضيين متتاليين وبالتالي حساب كميات الحفر والردم اللازمة لكامل المشروع . لاحظ أن خط التصميم يمكن أن يقطع خط سطح الأرض الطبيعي فيكون لدينا في نفس المقطع العرضي جزء في الحفر وآخر في الردم ويطلق عليه في هذه الحالة " مقطع مختلط "

(Cut and Fill Section or Sidehill Section) . كذلك يمكن أن يمر خط التصميم فوق خط سطح الأرض فيصبح المقطع العرضي بكامله في منطقة ردم ويطلق عليه " مقطع ردم أو طم " (Fill Section) أو أن يمر خط التصميم أسفل خط سطح الأرض فيكون المقطع العرضي في منطقة حفر ويطلق عليه مقطع حفر (Cut Section) .



شكل 7-8- مقاطع عرضية متنوعة لطريق

3-3-8- رسم المقطع العرضي (Cross – Sectional Plotting)

لرسم المقطع العرضي ، يمكن اتباع نفس أسلوب رسم المقطع الطولية مع ملاحظة أن يكون مقياس المسافات الأفقية مطابقاً لمقياس المسافات الرأسية (الارتفاعات) . أن السبب في تجانس المقياس هو عدم وجود فرق كبير بين المسافات الأفقية وفروق الارتفاعات بين مختلف نقاط المقطع العرضي الواحد .

يتراوح عادة المقياس الأفقي والرأسي هنا بين $\frac{1}{200} - \frac{1}{50}$ والشائع هو $\frac{1}{100}$

٤ شكل (8-8) أخيراً يجب ملاحظة أنه ليس من الضروري أن يكون منسوب الخط المرجعي عند رسم مقطع عرضي معين مطابقاً لمنسوب الخط المرجعي عند رسم مقطع عرضي آخر ذلك لأن فروق الارتفاعات تختلف من مقطع لآخر وبالتالي فإن اختيار المنسوب المرجعي يتم بناء على درجة الوضوح المطلوبة وعلى حجم الورقة أو بالأحرى العامل الاقتصادي .

3-3-4- فوائد عمل المقاطع العرضية :

من الفوائد الرئيسية لأعمال المقاطع العرضية ما يلي :

- أ- تساعد في اختيار أنصب المناسيب لأغراض التصميم والتنفيذ على يمين ويسار محور المشروع المقترح .
- ب- يستعان بها لحساب كميات الحفر والطمر اللازمة لتنفيذ المشروع .
- ج- تساعد في اشتقاق معلومات إضافية وأساسية تتعلق بالميل والمناسيب والمواقع لنقاط خاصة بالمشروع قيد الدراسة .

مسائل

- 8 - 1 لماذا نحتاج إلى القيام بأعمال التسوية للمقاطع الطولية والعرضية في مشاريع الطرق؟ أذكر أهم القوائد .
- 8 - 2 اعمل مخطط نمحي (Flow Chart) يبين الخطوات الضرورية لعمل للمقاطع الطولية لخور طريق معين .
- 8 - 3 هل يلزم توفر نقاط مناسيب مرجعية (Bench Marks) بجوار وعمادة محاور الطريق ؟ ولماذا ؟
- 8 - 4 ما الذي يتوجب أن يظهره للمقطع الطولي لخور طريق معين عند رسمه ؟
- 8 - 5 اعمل مخطط نمحي يبين الخطوات الضرورية لعمل للمقاطع العرضية لخور طريق معين.
- 8 - 6 ما أهمية عمل نموذج لتدوين القراءات وبيان للمسافات وحساب للناسيب في أعمال للمقاطع الطولية والعرضية ؟
- 8 - 7 أعط فكرة حول للمقاييس للمستعملة في أعمال رسم للمقاطع الطولية والعرضية موضحاً سبب التفاوت بينها .
- 8 - 8 ارسم للمقطع الطولي من المعلومات المبينة في الجدول التالي وبين عليه الأرض الطبيعية وخط المشروع ومناطق الحفر والردم (القطع والطعم) علماً بأن منسوب بداية خط المشروع هو نفس منسوب بداية خط الأرض الطبيعية ولن ميل خط المشروع 1.5% (لأمنقل) ومقياس الرسم للمساكنات يساوي 1:1000 وللمناسب 1:100

Station	Distance (m)	Reduced Level (m)
A	00.00	16.2
B	30.00	17.1
C	60.00	17.8
D	90.00	13.3
E	120.00	12.0

- 9 -

- الفصل التاسع -

حساب مساحات المقاطع

العرضية والطولية

AREA OF VARIOUS CROSS-
SECTIONS

9- حساب مساحات المقاطع العرضية المختلفة (Area of Various Cross-Sections)

1-9 مقدمة (Introduction)

يلزم في كثير من المشاريع الهندسية ، كمشاريع الطرق والسكك الحديدية وأقنية الري والسدود . . . الخ حساب كميات الأعمال الترابية من حفر وردم. من أجل ذلك يجري عادة قياس مناسيب نقاط مختلفة مأخوذة على خطوط متعامدة مع إتجاه محور المشروع المقترح. يطلق على هذه الخطوط بالمقاطع العرضية (Cross-Sections) . في مشروع طريق ماء، على سبيل المثال ، يعرف المقطع العرضي بذلك الجزء المحصور بين سطح الطريق المخصص لسير السيارات (Road Base) وغطى الميلين الجانبيين (Side Slopes) وخط سطح الأرض الطبيعية (Natural Terrain) . تحسب مساحات المقاطع العرضية بمطوية المناسيب وعناصر التصميم المختلفة . بمعرفة مساحات المقاطع العرضية والتباعدات بينها يمكن حساب كميات الحفر أو الردم بين كل مقطعين متتاليين وبالتالي حساب جميع الأعمال الترابية اللازمة لكامل المشروع . يمكن حساب مساحات المقاطع العرضية المختلفة وفق طرق رئيسية ثلاث ، الطريقة الحسابية أو التحليلية والطريقة التخطيطية والطريقة الميكانيكية.

9-2- الطريقة الحسابية أو التحليلية في حساب مساحات المقاطع العرضية

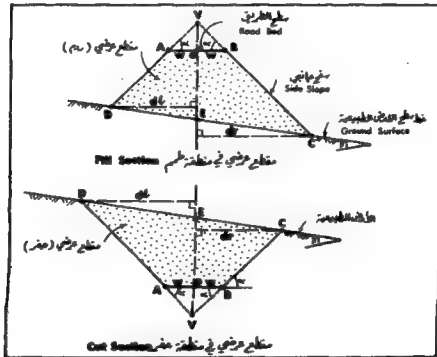
(Computation of Cross-Section Area by Analytic Method)

مع شيوع الحاسبات الإلكترونية ، أصبح بالإمكان حساب مساحات المقاطع العرضية المختلفة تحليلياً وبسرعة فائقة ودقة عالية . نعرض فيما يلي نماذج من المقاطع العرضية وطرق الحساب الملائمة لها ، [46م] [47م] [48م] [49م] [55م] .

١ . الحالة التي يكون فيها ميل الأرض الطبيعية منتظماً

بافتراض أن عرض سطح الطريق المصمم $2w$ وميل جوانب الطريق i وارتفاع الردم أو الحفر عند نقطة وسط الطريق v ، شكل (1-9) ، فإن مساحة المقطع العرضي $ABCD$ (الجزء المنقط) تساوي المثلث الكبير VCD مطروحاً منها مساحة المثلث الصغير VAB ، أي :

$$\text{Area} = (v + w.i) \left(\frac{dl + dr}{2} \right) - w^2 . i \quad \dots\dots\dots (1-9)$$



شكل 9-1- سطح الأرض الطبيعية منتظم الميل

لو :

$$\text{Area} = (v + w \cdot \tan \alpha) \left(\frac{d1 + dr}{2} \right) - w^2 \cdot \tan \alpha \quad \dots\dots\dots (2-9)$$

حيث :

α = زاوية ميل جوانب الطريق

$i = \tan \alpha$

dr = ارتفاع المثلث VCE

$d1$ = ارتفاع المثلث VDE

w = OA = OB = نصف عرض الطريق

v = OF = ارتفاع الحفر أو الردم عند نقطة وسط الطريق

ملحوظات :

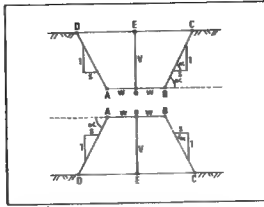
1- يمكن حساب ارتفاعي المثلثين dr و $d1$ بدلالة ارتفاع الحفر أو الردم (v) ونصف عرض الطريق (w) وميل الأرض الطبيعية ($\tan \beta = i$) وميل جوانب الطريق $i = \tan \alpha$

2- إذا كانت الأرض الطبيعية ذات ميول مختلفة $t1, t2, t3 \dots etc$ فيمكن عندها أخذ موازيات لخط سطح الطريق (AB) عند النقاط التي يتغير فيها ميل الأرض الطبيعية فينقسم بذلك سطح المقطع العرضي إلى مثلثات وأشباه منحرفة تحسب مساحتها بالطرق البسيطة أنفة الذكر وتجمع ليعمدها للحصول على المساحة الكلية للمقطع العرضي.

3- يمكن أن يأخذ المقطع العرضي شكلاً ممثلاً الشكل رقم (2-9) كما يحدث عادة في الأرض السهلية (Flat Terrain)، عندها تعطى المساحة بالعلاقة :

$$\text{Area} = v (2w + s.v) \quad \dots\dots\dots (3-9)$$

4- يمكن أيضاً حساب المساحة بطريقة الأحدثات التي سنشرحها بالتفصيل فيما بعد.



شكل 9-2- شكل المقطع العرضي في الأراضي المسهولة
(LEVEL SECTION)

ب. الحالة التي يكون فيها ميل الأرض الطبيعية غير منتظم وفق أحد الأشكال التالية :

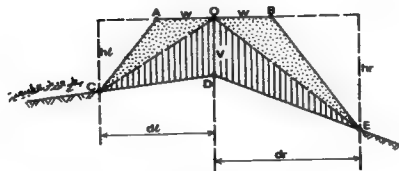
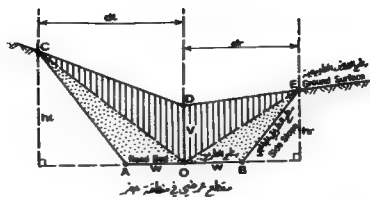
1. كما في الحالة المبينة في الشكل (3-9) ، تحسب مساحة المقطع العرضي على النحو التالي :

$$\text{Area} = \frac{w}{2} (h_l + h_r) + \frac{v}{2} (d_l + d_r) \quad \dots \dots (4-9)$$

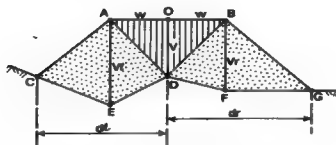
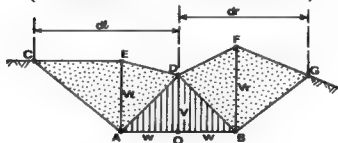
حيث ترمز v (وتساوي OD) إلى ارتفاع الحفر أو العلم عند نقطة وسط الطريق.

2- كما في الحالة المبينة في الشكل (4-9) ، تحسب مساحة المقطع العرضي على الشكل التالي :

$$\text{Area} = \frac{2w.v + v_l.d_l + v_r.d_r}{2} \quad \dots \dots (5-9)$$



شكل 3-9- مقطع عرضي من ثلاث نقاط
(THREE - LEVEL SECTION)



شكل 4-9- مقطع عرضي من خمس نقاط
(FIVE - LEVEL SECTION)

ملحوظات :

1- في الممثلتين (9-4) و (9-5) ، w ترمز إلى نصف عرض الطريق، v ترمز إلى عمق الحفر أو الردم عند نقطة منتصف الطريق، v_1 عمق الحفر أو الردم عند الطرف الأيسر لسطح الطريق، v_2 عمق الحفر أو الردم عند الطرف الأيمن لسطح الطريق.

2- يمكن أيضاً حساب المساحة للأشكال الواردة في البندين 1 ، ب أعلاه بطريقة الأحدثات أو بالطرق التحصيلية أو بالطرق الميكانيكية التي سنشرحها جميعاً بالتفصيل في الفقرات التالية.

مثال رقم 9-1-

مقطع عرضي يقع في منطقة سهلية تسمى (Flat Terrain)، ارتفاع الردم عند نقطة وسط الطريق يساوي : $v = 3.15m$ وعرض الطريق $2w = 10m$ وميل كل من الجانبين $\tan \alpha = \frac{1}{2}$ المطلوب إيجاد مساحة هذا المقطع.

الحل :

$$\tan \alpha = \frac{1}{S} = \frac{1}{2} \quad \text{لدينا :}$$

$$S = 2 \quad \text{إن :}$$

$$w = \frac{10}{2} = 5m \quad , \quad v = 3.15m \quad \text{وكذلك لدينا :}$$

فبتطبيق المعادلة (9-3)، يصبح لدينا :

$$Area = v(2w + sv) = 3.15(10 + 2 \times 3.15) = 51.35 m^2$$

مثال رقم 9- 2-

احسب مساحة المقطع العرضي المعطى بالمعلومات التالية :

	Left	Center	Right
عمق الحفر C أو الارتفاع F بالمتر	C 3.22	C 2.12	C 2.92
المسافة عن وسط الطريق ناحية اليمين أو اليسار بالمتر	13.0	0.0	12.5

علماً بأن عرض الطريق 10m ..

الحل :

لدينا :

$$w = \frac{10}{2} = 5m , \quad h_l = 3.22m , \quad h_r = 2.92m$$

$$v = 2.12m , \quad d_l = 13m , \quad d_r = 12.5m$$

وعليه نطبق المعادلة (9- 4) يصبح لدينا :

$$Area = \frac{w}{2} (h_l + h_r) + \frac{v}{2} (d_l + d_r)$$

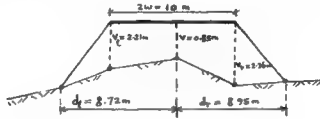
$$Area = \frac{5}{2} (3.22 + 2.92) + \frac{2.12}{2} (13 + 12.5)$$

$$Area = 42.38m^2$$

مثال رقم -3-9-

ليحسب مساحة المنحدر العرضي المعطى بالمعلومات التالية علماً بأن عرض الطريق يساوي 10m.

المسافة بدءاً من وسط الطريق ناحية اليمين أو اليسار بالمتر	F2.36	F0.85	F2.21	المسافة اللازم من الحفر أو الردم F بالمتر
8.95	5.0	0.0	5.0	8.72



الحل :

لدينا نصف عرض الطريق w يساوي 5m، عمق الردم v عند نقطة منتصف الطريق يساوي 0.85m، عمق الردم عند الطرف الأيسر لسطح الطريق v1 يساوي 2.21m، عمق الردم عند الطرف الأيمن لسطح الطريق vr يساوي 2.36m، أما d1 فتساوي 8.72 و dr تساوي 8.95م لتطبيق المعادلة رقم (9-5) ينتج لدينا :

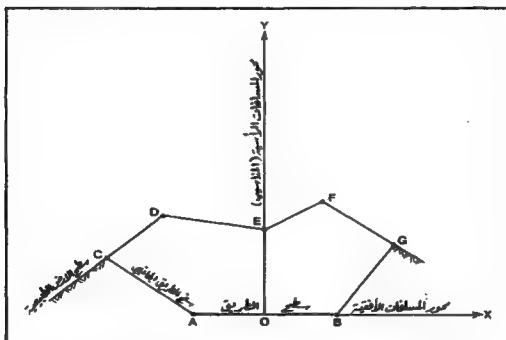
$$\text{Area} = \frac{2w.v + v1.d1 + vr.dr}{2}$$

$$\text{Area} = \frac{10 \times 0.85 + 2.21 \times 8.72 + 2.36 \times 8.95}{2}$$

$$\text{Area} = 24.45\text{m}^2$$

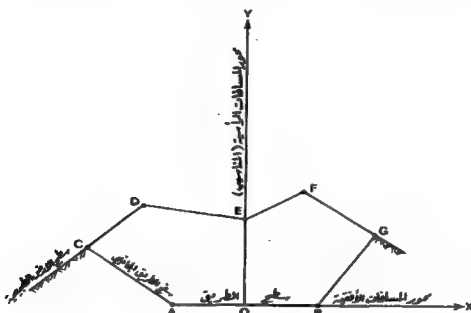
9-3 - طريقة الإحداثيات في حساب مساحات المقاطع العرضية [14م] [19م] [21م] [22م]
 (Computation of Cross-Section Area by the Coordinate Method) [55م] [23م]

من الشائع أيضاً تطبيق طريقة الأحداثيات في حساب مساحات المقاطع العرضية وذلك باعتبارها مضلعات مغلقة (Closed Polygon Traverses) . على سبيل المثال، لحساب المقطع العرضي المبين في الشكل (9-5)، نختار نظام إحداثيات x و y مركزه النقطة O (ولتكن نقطة منتصف عرض الطريق المقترح AB في الشكل المذكور أعلاه) فيه محور x يمثل المسافات الأفقية ومحور y يمثل المناسيب (أي أعماق الحفر والردم) . نأخذ من دفتر الحقل المسافات الأفقية والمناسيب المنطوقة بالنقاط G و F و E و D و C وبمعرفة عرض الطريق (AB) ومنسوب الطريق الخاص بهذا المقطع يمكن تعيين إحداثيات جميع نقاط زوايا المقطع العرضي G و F و E و D و C و B و A .



شكل 9-5- حساب مساحة المقطع العرضي بطريقة الأحداثيات

في أحيان كثيرة تكون قيم أصفاق الحفر أو الردم لمختلف نقاط المقطع العرضي مدونة في دفتر الحقل مما يسهل تعيين الأحداثيات، فمثلاً في حالة الشكل (9-6) ، تكون الموطومات الحقلية الخاصة به على الشكل التالي :



شكل 9-6

المصلحة أو التكرج Station or Chainage m	منسوب التصميم اسطح الطريق Grade Elev. m	منسوب سطح الأرض الطبيعية Ground Elev. m	نقاط المقطع العرضي رقم ... Cross - Section No.				
			Left m		Center	Right m	
120.00	657.40	663.72	C2.63 09.86	C5.34 07.84	C6.32 00.00	C4.25 05.50	C4.82 10.12

حيث يمثل البسط (Numerator) في كل كسر الأحداثي السيني أو عمق الحفر أو الردم (عادة نميز بينهما بكتابة الحرف C أو + للدلالة على الحفر وكتابة الحرف F أو - للدلالة على الردم) وأما المقام (Denominator) فيمثل الأحداثي السيني أو بعد النقطة على يسار

أو يمين محور المصادات المار بنقطة 0 (نقطة منتصف عرض الطريق AB . إن معلومات الحقل أعلاه تمثل النقطة لـ G و F و E و D و C وبالتحديد

$$\begin{array}{l} \text{، النقطة E يمثلها الكسر } \frac{C 6.32}{00.00} \text{ (لاحظ أن الأحدثي السيني لها يساوي } \\ \text{صفرأ) ، النقطة D يمثلها الكسر } \frac{C 5.34}{7.84} \text{ ، النقطة C يمثلها الكسر } \\ \frac{C 2.63}{9.86} \text{ ، النقطة F يمثلها الكسر } \frac{C 4.25}{5.50} \text{ ، النقطة G يمثلها الكسر } \frac{C 4.82}{10.12} . \end{array}$$

أما النقطتان B و A فستنتج إستنتاجاً بمعرفة عرض الطريق، فإن كان هذا العرض مثلاً 10m
فإن الكسر الذي يمثل النقطة A هو $\frac{C 0.00}{5.00}$ والكسر الذي يمثل النقطة B هو $\frac{C 0.00}{5.00}$
ذلك لأن الأحدثي الصادي لكل من B و A يساوي صفرأ ولما الأحدثي السيني فهو مساوي
عدياً لنصف عرض الطريق. بهذا يمكن الآن ترتيب المعلومات الخاصة بجميع زوايا المقطع
العرضي المبين في الشكل (9-43)، على النحو التالي :

A	C	D	E	F	G	B
$\frac{C00.00}{05.00}$	$\frac{C2.63}{09.86}$	$\frac{C5.34}{07.84}$	$\frac{C6.32}{00.00}$	$\frac{C4.25}{05.50}$	$\frac{C4.82}{10.12}$	$\frac{C00.00}{05.00}$

كما ذكرنا، أن البسط في كل كسر يمثل الأحدثي الصادي والمقام يمثل الأحدثي السيني وعليه
دعنا نرتب هذه المعلومات مرة أخرى على شكل أحداثيات x و y مع إعادة كتابة أحداثيات
النقطة A في النهاية لإكمال المضلع ومع ملاحظة أن الأحدثي السيني يكون موجباً لكل نقطة
واقعة على يمين محور المصادات وسالباً لكل نقطة واقعة على يسار محور المصادات، أي :

Point No.	A	C	D	E	F	G	B	A
y	0.00	2.63	5.34	6.32	4.25	4.82	0.00	0.00
x	-5.00	-9.86	-7.84	0.00	5.50	10.12	5.00	-5.00

الآن نضرب كل قيمتين والعين على طرفي كل خط قطري متصل ونجمعها لبعض وليكن
مجموع هذه المضاريب مساوياً $\sum 1$ ، أي :

$$\begin{aligned}\Sigma_1 = & (0.00 \times (-9.86)) + (2.63 \times (-7.84)) + (5.34 \times 0.00) + \\ & (6.32 \times 5.50) + (4.25 \times 10.12) + (4.82 \times 5.00) + \\ & (0.00 \times (-5.00)) = 81.25\text{m}^2\end{aligned}$$

كذلك نضرب كل قيمتين واقتئين على طرفي كل خط قطري مقطع ونجسها لبعض وليكن مجموع هذه المضاريب مساويا Σ_2 ، أي :

$$\begin{aligned}\Sigma_2 = & (2.63 \times (-5.0)) + (5.34 \times (-9.86)) + (6.32 \times (-7.84)) + \\ & (4.25 \times 0.00) + (4.82 \times 5.50) + (0.00 \times 10.12) + \\ & (0.00 \times 5.00) = -88.84\text{m}^2\end{aligned}$$

وعليه تكون مساحة المقطع العرضي بكامله مساوية :

$$\text{Area} = \frac{|\Sigma_1 - \Sigma_2|}{2} = \frac{|81.25 - (-88.84)|}{2}$$

$$\text{Area} = 85.05\text{m}^2$$

ملحوظات :

1- إذا كان المقطع مغنطاً (حفر وردم Sidehill Section) فوجب حساب مساحة كل من الحفر والردم على إفراد، ذلك لأنهما (أي الحفر والردم) يخلان في جدول الكميات كبندين منفصلين.

2- يجب عند تعيين المسافات الأفقية أو الإحداثيات السوية لروفا المقطع العرضي، أخذ الإشارة الجبرية بعين الإعتبار.

3- تؤخذ مناسيب النقاط الخاصة بكل مقطع عرضي، وبالتالي أصالح الحفر والردم، إما مباشرة من دفتر الحقل وإما أن تستنتج حسابياً (مثلاً بالمتوسط Interpolation) من المخططات والخرائط الطبوغرافية المناسبة. في كلا الحالتين، يلزم معرفة متوسط القسم (المنسوب المراد الوصول إليه) لنقطة وسط الطريق عند كل مقطع عرضي، كذلك يلزم معرفة عرض الطريق وميل جوانب الطريق عند كل مقطع.

4- ليس من الضروري أن تكون نقطة منتصف عرض الطريق مركزاً للأحداثيات بل يمكن أيضاً أن تكون محور الأحداثيات كما في الشكل (7-9) " كذلك يمكن تسمية محور الصادات (المناسيب) بمحور z بدلاً من محور y وهو الأنسب لأنه من الشائع أن ترمز z إلى الارتفاع أو البعد الرأسي. في مثل هذه الحالة يجري ترتيب الأحداثيات وفق أحد

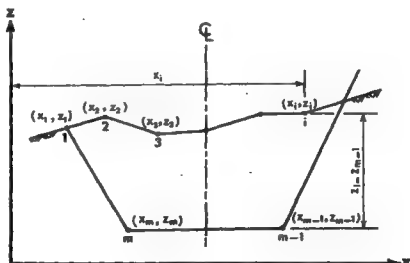
النماذج الأربعة التالية :

$$\frac{x_1}{z_1} \times \frac{x_2}{z_2} \times \frac{x_3}{z_3} \times \frac{x_4}{z_4} \dots \frac{x_i}{z_i} \dots \frac{x_{m-1}}{z_{m-1}} \times \frac{x_m}{z_m} \times \frac{x_1}{z_1} \quad (1)$$

$$\frac{z_1}{x_1} \times \frac{z_2}{x_2} \times \frac{z_3}{x_3} \times \frac{z_4}{x_4} \dots \frac{z_i}{x_i} \dots \frac{z_{m-1}}{x_{m-1}} \times \frac{z_m}{x_m} \times \frac{z_1}{x_1} \quad (2)$$

$$\frac{x_1}{z_1} \times \frac{x_m}{z_m} \times \frac{x_{m-1}}{z_{m-1}} \dots \frac{x_i}{z_i} \dots \frac{x_4}{z_4} \times \frac{x_3}{z_3} \times \frac{x_2}{z_2} \times \frac{x_1}{z_1} \quad (3)$$

$$\frac{z_1}{x_1} \times \frac{z_m}{x_m} \times \frac{z_{m-1}}{x_{m-1}} \dots \frac{z_i}{x_i} \dots \frac{z_4}{x_4} \times \frac{z_3}{x_3} \times \frac{z_2}{x_2} \times \frac{z_1}{x_1} \quad (4)$$



شكل 7-9

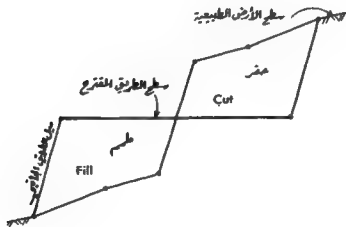
لاحظ أنه عند ترتيب الاحداثيات نبتدئ بأي ركن أو زلوية من زوايا المقطع العرضي (أو المضلع) ونسير بعدها إما وفق أو عكس اتجاه عقارب الساعة حتى نعود ثانية إلى نقطة البداية ونكتب لاحداثياتها ثانية. يأخذ ترتيب الاحداثيات وفق النموذج الأول تكون مساحة المقطع العرضي الوارد في الشكل (7-9) كما يلي :

$$\text{Area} = \frac{1}{2} \left[(x_1.z_2 + x_2.z_3 + x_3.z_4 + \dots + x_{m-1}.z_m + x_m.z_1) - (x_2.z_1 + x_3.z_2 + x_4.z_3 + \dots + x_m.z_{m-1} + x_1.z_m) \right]$$

لو :

$$\text{Area} = \frac{1}{2} \left[z_1(x_m - x_2) + z_2(x_1 - x_3) + z_3(x_2 - x_4) + \dots + z_m(x_{m-1} - x_1) \right] \dots \dots \dots (6-9)$$

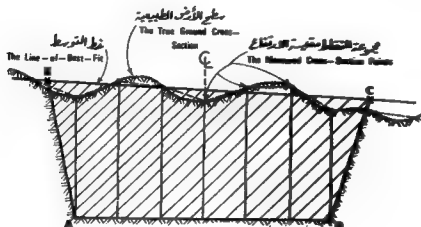
في حالة وجود مقطع مختلط (أي حفر و ردم Sidehill Section) سيكون لدينا مضلعان مختلفان، شكل (8-9) ، نحسب مساحة كل منهما باستخدام نفس المعادلة (6-9) ، ونجمع المساحتين لينتج مساحة المقطع المختلط بكامله.



شكل 9-8- مقطع مختلط (حفر و ردم)

9-4 - طريقة المقطع المبسط في حساب مساحات المقاطع العرضية [55م]
(Simplified Cross-Section Method)

في هذه الطريقة يتم تشكيل مقطع عرضي مبسط باستبدال خط واحد مستقيم بخط سطح الأرض الطبيعية الذي يصل بين مجموعة من النقاط المقاسة الارتفاع (المنسوب)، شكل (9-9).

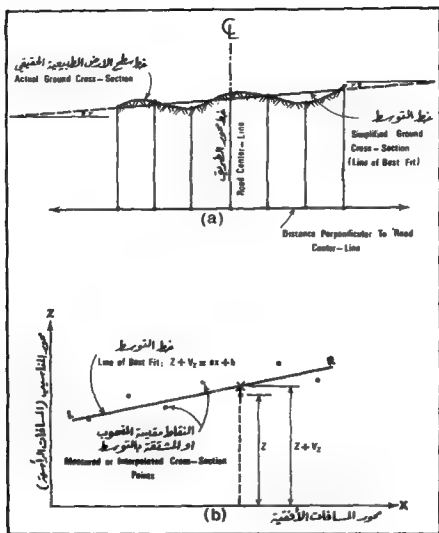


شكل 9-9- تحويل المقطع العرضي الحقيقي إلى آخر مبسط

يجري تحديد الخط المستقيم باستناداً إلى نظرية للتربيعات الوسطى (Theory of Least Squares) بحث بتوسط بشكل جيد النقاط مقاسة الارتفاع. نبيّن فيما يلي كيفية تعيين الخط المستقيم البديل لخط سطح الأرض الطبيعية وسنطلق على هذا الخط من هنا فصاعداً اسم "خط التوسط" " Line - of - Best - Fit ". لنفرض في الشكل (9-10-b)، أن الخط LR هو الخط المستقيم البديل لخط سطح الأرض الطبيعية المار من مجموعة النقاط مقاسة الارتفاع. إن معادلة هذا الخط هي على الشكل : $Z = ax + b$ وعليه فيعين قيم المعاملين a و b يمكن حساب المنسوب أو ارتفاع (z) أي نقطة على هذا الخط . لتعيين قيم المجاهيل a و b نكتب :

$$Z + v_z = ax + b$$

$$v_z = (ax + b) - z \quad \dots \dots \dots (9-7)$$



شكل 9-10- خط سطح الأرض الطبيعية (a) وخط التوسط (b)

فإذا كان لدينا عدد n من النقاط المحددة للمقطع العرضي فسيكون هناك عدد n أيضاً من الإرتفاعات المقومة نكتبها على الشكل الماتريسي (Matrix Notation) التالي :

$$f = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \vdots \\ z_n \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (8-9)$$

$(n \times 1)$

دعنا كذلك نكتب معاملات المجاهيل b و a على الشكل الماتريسي التالي :

$$A = \begin{bmatrix} x_1 & 1 \\ x_2 & 1 \\ x_3 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ x_n & 1 \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (9-9)$$

$(n \times 2)$

والمجاهيل b و a على الشكل الماتريسي التالي :

$$X = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (10-9)$$

(2×1)

وبالتالي فإن المعادلة (9 - 7) يمكن صياغتها على الشكل الماتريسي التالي : ولعدد n من النقاط المقومة الإرتفاع (يطلق عليها مدلات الرصد (Observation Equations) :

$$\begin{bmatrix} vx1 \\ vx2 \\ vx3 \\ \vdots \\ v_m \end{bmatrix}_{(n \times 1)} = \begin{bmatrix} x1 & 1 \\ x2 & 1 \\ x3 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ x_n & 1 \end{bmatrix}_{(n \times 2)} \cdot \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}_{(2 \times 1)} = \begin{bmatrix} z1 \\ z2 \\ z3 \\ \vdots \\ z4 \end{bmatrix}_{(n \times 1)} \dots (11-9)$$

لو :

$$V_x = A \cdot X - f \dots (12-9)$$

وعليه فإن المعادلات النظامية (Normal Equations) المقابلة لمعادلات الرصد
(Observation Equations) ، (52-9) و (53-9) هي :

$$(A^T \cdot G^{-1} \cdot A) X = A^T \cdot G^{-1} \cdot f \dots (13-9)$$

الآن ببقراض أن قياس ارتفاعات النقاط يجري بنفس الدرجة من الدقة وبدون ارتباط
(Correlation) بين قياس وآخر، فإن الماتريس G يكون وحيداً (Unit Matrix)
ويقتضي :

$$G^{-1} = (W^{-1})^{-1} = W = I$$

حيث تمثل W ماتريس الأوزان (Weight Matrix) الخاصة بالارتفاعات المقیمة. ومن ثم
فإن المعادلة (54-9) تصبح على الشكل :

$$A^T \cdot A \cdot X = A^T \cdot f \dots (14-9)$$

وحيث أن :

$$A^T A = \begin{bmatrix} x1 & x2 & x3 & \dots & x_n \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x1 & 1 \\ x2 & 1 \\ x3 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ x_n & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n x_i & n \end{bmatrix} \dots (15-9)$$

(2 × n) (n × 2) (2 × 2) ..

$$A^T f = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & \dots & x_n \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ \vdots \\ z_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n x_i z_i \\ \sum_{i=1}^n z_i \end{bmatrix}$$

(2 × n) (n × 1) (2 × 1) ... (16-9)

وعليه فإن المعادلة (14-9) تصبح :

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n x_i & n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n x_i z_i \\ \sum_{i=1}^n z_i \end{bmatrix}$$

$A^T A$ X $A^T f$
(2 × 2) (2 × 1) (2 × 1) ... (17-9)

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n x_i & n \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n x_i z_i \\ \sum_{i=1}^n z_i \end{bmatrix}$$

(18-9)

وحيث أن :

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n x_i & n \end{bmatrix}^{-1} = \frac{1}{\begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n x_i & n \end{vmatrix}}} \begin{bmatrix} n & -\sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 \end{bmatrix} = \frac{1}{(n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2)}$$

..... (19-9)

إن :

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \frac{1}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \begin{bmatrix} n & -\sum_{i=1}^n x_i \\ -\sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n x_i z_i \\ \sum_{i=1}^n z_i \end{bmatrix} \quad (20-9)$$

والخبراً :

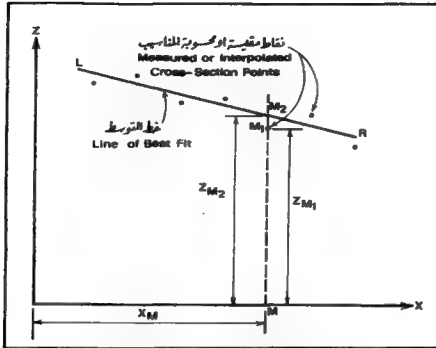
$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i z_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n z_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}$$

$$b = \frac{-\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n z_i + \sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n z_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (21-9)$$

إن قيم المجاهيل a, b في المعادلة رقم (21-9) تختلف من مقطع عرضي لآخر لإختلاف المناسيب (Elevations) الخاصة بكل مقطع عرضي.

تبعا لهذا ، فإنه إذا افترضنا أن $ZM1$ تمثل المنسوب المقيس لنقطة ما M من مقطع عرضي معين ، شكل (11-9) ، فإنه سيجري إستبدال المنسوب $ZM2$ بالمنسوب $ZM1$. إن المنسوب $ZM2$ يقابل المواقع الجديد للنقطة M على خط المتوسط L, R . يحسب المنسوب الجديد $ZM2$ من العلاقة :

$$ZM2 = aX_M + b \quad (22-9)$$



شكل-9-11- اشتقاق مناسيب نقاط المقطع العرضي من معادلة
خط التوسط (LINE OF BEST FIT)

حيث ترمز X_M إلى الأحدثي السيني للنقطة M من المقطع العرضي المختبر. بالمثل يمكن حساب المنسوب الجديد لأي نقطة أخرى من نفس المقطع العرضي (التي تمثل النقطة M إحدى نقاطه) بتحديد الأحدثي السيني لها ومن ثم تطبيق المعادلة (9-22) . مرة أخرى ، لاحظ أن قيم المجاميل b و a في المعادلتين (9-21) و (9-22) تختلف من مقطع عرضي لآخر نظراً لاختلاف مجموعة المناسيب المشكلة لهذا المقطع العرضي أو ذلك.

الآن لحساب مساحة المقطع العرضي المبسط ، يمكن التمييز بين الحالات التالية :

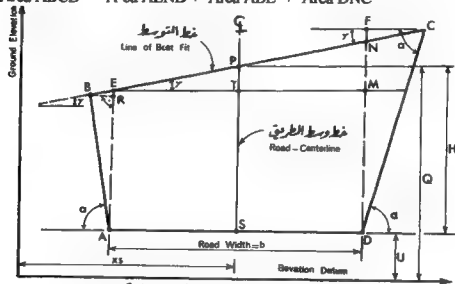
1- عندما يكون المقطع العرضي في منطقة حفر (Cut or Excavation Section) ،
لنفرض في الشكل (9-12) ، أن $ABCD$ يمثل مقطع حفر وإدنا المعطيات التالية :

- b عرض الطريق (Road Width)
- α زاوية ميل جوانب الطريق للمقطع العرضي المختبر
- γ زاوية ميل خط التوسط عن الأفقي

- Q منسوب الأرض الطبيعية (Ground Level) عند خط وسط الطريق (Road-Centerline) للمقطع العرضي المعطى .
- U منسوب التصميم (Grade Elevation) عند خط وسط الطريق العرضي المعطى .

لحساب مساحة هذا الشكل (ABCD)، يمكن إتباع الخطوات التالية :

$$\text{Area ABCD} = \text{Area AEND} + \text{Area ABE} + \text{Area DNC}$$



شكل 9-12- مقطع عرضي في منطقة حفر

1. مساحة الشكل AEND

$$\text{Area AEND} = \text{Area AEMD} + \text{Area EMN}$$

$$\text{Area AEND} = AD \cdot ST + EM \cdot \frac{MN}{2} \dots \dots \dots (23-9)$$

$$TP = \frac{MN}{2}$$

وحيث أن : $AD = EM = b$ ، وكذلك : $TP = \frac{MN}{2}$

إذن :

$$\text{Area AEND} = b \cdot ST + b \cdot TP = b(ST + TP) = B \cdot H \dots (24-9)$$

ب . مساحة الشكل ABE

$$\text{Area ABE} = (AE / 2) \cdot BR$$

ومن المثلثين ABR , BRE ، لدينا :

$$\tan \gamma = ER / BR \text{ و } \tan \alpha = AR / BR$$

$$BR = ER / \tan \gamma = AR / \tan \alpha \dots\dots\dots (25-9)$$

$$AE = AR + ER \dots\dots\dots \text{ولكن :}$$

إذن :

$$\frac{AE}{\tan \alpha} = \frac{AR}{\tan \alpha} + \frac{ER}{\tan \alpha} \dots\dots\dots (26-9)$$

$$\frac{AE}{\tan \alpha} = \frac{ER}{\tan \gamma} + \frac{ER}{\tan \alpha} \dots\dots\dots (27-9)$$

$$\left(\text{من المعادلة 25-9} \right) \frac{AR}{\tan \alpha} = \frac{ER}{\tan \gamma} \text{ (لاحظ أن)}$$

$$\frac{AE}{\tan \alpha} = ER \frac{(\tan \alpha + \tan \gamma)}{(\tan \alpha \cdot \tan \gamma)}$$

$$ER = \frac{AE \cdot \tan \gamma}{\tan \alpha + \tan \gamma} \dots\dots\dots (28-9)$$

$$BR = \frac{ER}{\tan \gamma} \dots\dots\dots \text{ومن المعادلة (25-9) ، لدينا :}$$

$$BR = \left(\frac{AE \tan \gamma}{(\tan \alpha + \tan \gamma)} \right) \cdot \frac{1}{\tan \gamma} = \frac{AE}{\tan \alpha + \tan \gamma} \dots\dots (29-9)$$

$$AE = ST = H - PT = H - \frac{MN}{2} = H - \frac{b \tan \gamma}{2} \dots\dots (30-9)$$

أخيراً من المعادلتين (71-9) و (72-9) يصبح لدينا :

$$\text{Area ABE} = \frac{AE}{2} \cdot BE = \frac{(AE)^2}{2(\tan \alpha + \tan \gamma)} = \frac{(H - \frac{b \tan \gamma}{2})^2}{2(\tan \alpha + \tan \gamma)} \quad (31-9)$$

جـ . مساحة المثلث DNC

$$\text{Area DNC} = \frac{DN}{2} \cdot CF$$

ومن المثلثين DFC ، NFC ، لدينا :

$$\tan \alpha = \frac{DF}{FC} , \tan \gamma = \frac{FN}{FC} , \text{ thus :}$$

$$FC = \frac{DF}{\tan \alpha} = \frac{FN}{\tan \gamma} \dots\dots\dots (32-9)$$

ولكن $DN = DF - FN$ ، إذن :

$$\frac{DN}{\tan \alpha} = \frac{DF}{\tan \alpha} - \frac{FN}{\tan \alpha} \dots\dots\dots (33-9)$$

ومن المعادلتين (32-9) و (33-9) :

$$\frac{DN}{\tan \alpha} = \frac{FN}{\tan \gamma} - \frac{FN}{\tan \alpha} = \frac{FN(\tan \alpha - \tan \gamma)}{\tan \alpha \cdot \tan \gamma} \dots\dots\dots (34-9)$$

وعليه فإن :

$$\text{Consequently , } FN = \frac{DN \cdot \tan \gamma}{\tan \alpha - \tan \gamma} \dots\dots\dots (35-9)$$

$$(FCN \text{ لاحظ المثلث }) FC = FN / \tan \gamma \dots\dots\dots (36-9)$$

ومن المعادلتين (35-9) و (36-9) ، لدينا :

$$FC = \frac{DN}{\tan \alpha - \tan \gamma} \dots\dots\dots (37-9)$$

$$DN = SP + \frac{MN}{2} = H + \frac{b \cdot \tan \gamma}{2} \dots\dots\dots (38-9)$$

$$\text{Area DNC} = \frac{DN}{2} \cdot FC = \frac{(DN)^2}{2(\tan \alpha - \tan \gamma)} \dots\dots\dots (39-9)$$

ومن المعادلتين (38-9) و (39-9) :

$$\text{Area DNC} = \frac{\left(H + \frac{b \cdot \tan \gamma}{2}\right)^2}{2(\tan \alpha - \tan \gamma)} \dots\dots\dots (40-9)$$

وبالتالي فإن مساحة الشكل ABCD بكامله تساوي :

$$\text{Area ABCD} = \text{Area AEND} + \text{Area ABE} + \text{Area DNC}$$

$$\text{Area ABCD} = b \cdot H + \frac{\left(H - \frac{b \cdot \tan \gamma}{2}\right)^2}{2(\tan \alpha - \tan \gamma)} + \frac{\left(H + \frac{b \cdot \tan \gamma}{2}\right)^2}{2(\tan \alpha - \tan \gamma)} \dots\dots\dots (41-9)$$

$$H = Q - U \quad \text{حيث أن :}$$

في المعادلة (41-9)، تعتبر قيمة H مساوية لسطح الحفر المطلوب عند نقطة منتصف الطريق للمقطع العرضي المختار. أما قيمة U (Grade Elevation) فيوجدتها المهندسين المصمم لكل مقطع عرضي في ضوء خط التصميم المقترح (Vertical Alignment) والمطبق على المقطع الطولي (Longitudinal Profile). بالنسبة لقيمة Q (Ground Elevation at the Road-Centerline) فيجري حسابها بتعويض الأختلاف السبيني لنقطة منتصف الطريق من المقطع العرضي المختار (النقطة S أو النقطة P في الشكل

(12-9) في معادلة خط التوسط ($Z = ax + b$) الخاصة بهذا المقطع العرضي، فلنأخذ فرضاً، على سبيل المثال أن الأحداثي السيني لنقطة منتصف الطريق (S) من مقطع عرضي معين يساوي x_s ، فإن قيمة Q بهذا المقطع العرضي تساوي :

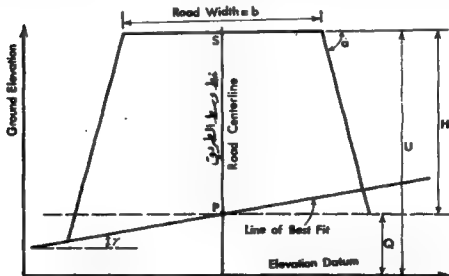
$$Q = ax_s + b \quad \dots\dots\dots (42-9)$$

2- عندما يكون المقطع العرضي في منطقة ردم (Fill or Embankment Section)

لحساب مساحة مقطع عرضي يقع بكامله في منطقة ردم (طمم)، يمكن إتباع نفس خطوات حساب مساحة مقطع عرضي يقع في منطقة حفر (الهند أعلاه) فينتج لدينا معادلة مطابقة تماماً للمعادلة (41-9) مع ملاحظة أن قيمة H في المعادلة (41-9) تكون مساوية هنا $|Q - U|$ كما هو الحال لو كان المقطع في منطقة حفر (انظر الشكلين (12-9) و (13-9) .

3- عندما يكون المقطع العرضي مختلطاً (Sidehill Section)

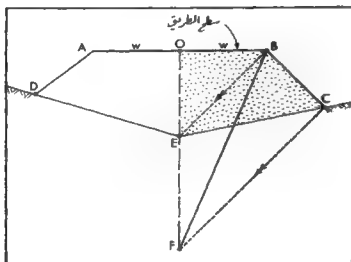
في حالة مقطع عرضي يقع جزئياً في منطقة حفر وجزئياً في منطقة ردم فإنه يجري حساب مساحة جزء الحفر بتطبيق المعادلات الخاصة بمقاطع الحفر وحساب مساحة جزء الردم بتطبيق المعادلات الخاصة بمقاطع الردم وتجمعان مع بعض.



شكل 9-13 - مقطع عرضي في منطقة ردم (طمم)

5-9- الطرق التخطيطية في حساب مساحات المقاطع العرضية [55م]

يمكن أيضاً صلب مساحة المقطع العرضي بطريقة تخطيطية، ففي الشكل (9-14)، على سبيل المثال، يمكن إستبدال المثلث $OBCE$ بالجزء $OBCE$ من المقطع العرضي. من الشكل نفسه نلاحظ أنه يوصل الخط BE ورسم الخط الموازي له CF يتشكل لدينا مثلثان متكافئان BEF و BEC حيث يشتركان بنفس القاعدة BE وبملاك نفس الارتفاع وعليه فإننا نضم المثلث BEF (بدلاً من المثلث BEC) إلى المثلث OBE لينتج لدينا المثلث $OBCE$ المكافئ في المساحة لجزء المقطع العرضي $OBCE$. إن مساحة المثلث $OBCE$ تساوي حاصل ضرب نصف عرض الطريق OB بنصف الارتفاع OF . بالمثل يمكن حساب مساحة الجزء الأيسر من هذا المقطع العرضي.



شكل 9-14- حساب مساحة المقطع العرضي بطريقة تخطيطية

6-9- الطرق الميكانيكية :

يلزم في حالات المقطع العرضية التي يكون فيها سطح الأرض الطبيعية وعراً، قياس مناسب أكثر من ثلاث أو خمس نقاط وذلك لتمثيل سطح الأرض بشكل جيد. لحساب مساحة مثل هذه

المقاطع، يمكن تجزئة كل مقطع إلى عدة مثلثات وشبه منحرفة وأشكال هندسية لأخرى منتظمة وتطبيق العلاقات الرياضية الخاصة بحساب مساحتها. كذلك يمكن اللجوء إلى طريقة الأحدثيات في حساب مساحات مثل هذه الأشكال. ولكن على الرغم من دقة هذه الطرق إلا أنها جميعاً تستهلك وقتاً طويلاً نسبياً للإعداد وإجراء الحسابات. بسبب هذا يمكن اللجوء إلى الطرق الميكانيكية وذلك بقياس المساحة بواسطة جهاز البلاثيمتر بعد رسم المقطع العرضي على ورقة رسم مليمتري بمقياس أفقي ومقياس رأسي مناسبين.

لقد سبق أن شرحنا طريقة إستعمال وقراءة البلاثيمتر وبقي أن نشير هنا إلى أنه يمكن بإستخدام جهاز البلاثيمتر تحقيق دقة تصل إلى 1% (وربما أفضل حسب دقة رسم الأشكال المعقّمة ونوع الورق الحاوي لها والقياسات الحظية التي رسمت الأشكال بموجبها) في قياس مساحات الأشكال الغير منتظمة بشكل عام وللمقاطع العرضية ذات الحدود المتعرجة كثيراً أو المنحنية أو كليهما معاً بشكل خاص خصوصاً عند أخذ الحيطه والإنتباه في القياس. أخيراً، إن إستخدام البلاثيمتر في قياس مساحات المقاطع العرضية شائع بكثرة في مشاريع الطرق بسبب سرعته ودقته الكافية خصوصاً إذا أعيد القياس مرتين أو أكثر وباتجاهات متمكسة. ولا بد أن نذكر أيضاً أن إستخدام الحاسوب والبرامج الجاهزة ذات العلاقة يزداد بشكل مضطرد.

مسائل

9-1 ما هي الفوائد الأساسية العملية لعمل وحساب مساحات للمقاطع العرضية في مشاريع الطرق ؟

9-2 لديك للمعطيات التالية لمقطع عرضي (حفر)

* عرض سطح الطريق : (16 m) .

* ميل جوانب الطريق : (2 : 1) .

* $dl = 12.25m$, $dr = 14.15m$.

* مساحة للمقطع العرضي (مساحة الحفر) : $(73.25m^2)$.

* ميل الأرض الطبيعية منتظم .

للمطلوب حساب ارتفاع الحفر عند نقطة وسط الطريق .

9-3 لديك مقطع عرضي يقع في منطقة سهلية ، ارتفاع الحفر عند نقطة وسط الطريق

يساوي (2.23m) وعرض الطريق (16 m) وميل الجوانب (2 : 1) ، للمطلوب

حساب مساحة هذا للمقطع .

9-4 نفس للمعطيات والمطلوب في المسألة (9-3) ولكن على أساس مقطع ردم وليس

مقطع حفر .

9-5 احسب مساحة للمقطع العرضي وفقاً للجدول التالي :

	يسار	وسط	يمين
عمق الردم	4.12m	3.11m	3.59 m
للساكنة من وسط الطريق	14.6m	0.0	12.56m

علماً بأن عرض سطح الطريق يساوي (16m) .

- 6-9 مقطع عرضي بالمواصفات الواردة في الجدول التالي مساحته $105.6m^2$ ،
للمطلوب حساب عرض سطح الطريق.

	يسار	وسط	يمين
عمق الحفر	3.76m	2.13m	2.19 m
المسافة من وسط الطريق	11.29m	0.0	8.28m

- 7-9 احسب مساحة للقطع العرضي وفق معطيات الجدول التالي علماً بأن عرض الطريق (20m) .

عمق الحفر	0.0	1.82m	1.29m	2.05m	0.0
المسافة من وسط الطريق	17.2m	11.29m	0.00	11.11m	16.01m

- 8-9 نفس للسألة (7-9) ولكن على اعتبار أن للقطع ردم وعرض الطريق (16m) .

- 9-9 لديك للمعطيات التالية على أسس الشكل (6-9) وباعتبار عرض سطح الطريق يساوي 16m .

	يسار (m)		وسط (m)	يمين (m)	
عمق الحفر	2.72	3.21	4.11	3.24	3.68
المسافة من وسط الطريق	6.23	5.48	0.0	6.11	4.23

للمطلوب حساب مساحة هذا للقطع العرضي بطريقة الإحداثيات .

- 10-9 نفس للمعطيات والمطلوب في السألة (9-9) ولكن بافتراض أن للقطع ردم وأن عرض الطريق (20m) .

11-9 لديك المعطيات التالية لقطع عرضي في طريق :

* عرض سطح الطريق : 12 m

* ميل جوانب الطريق : 2 : 1

* ميل خط التوسط : 3 : 1

* منسوب الأرض الطبيعية

عند خط التوسط : 623.29m

* منسوب التصميم : 627.14

المطلوب حساب مساحة للقطع العرضي .

12-9 نفس المسألة (11-9) ولكن على أسس أن منسوب الأرض الطبيعية عند خط

الوسط يساوي (631.34m) .

- 10 -

- الفصل العاشر -

حساب الججوم

COMPUTATION OF VOLUMES

10- حساب الحجم (Computation of Volumes) [55م]

1-10- مقدمة (Introduction)

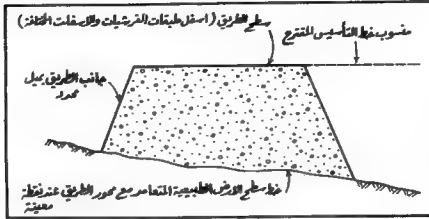
يلزم في كثير من مشاريع الهندسة المدنية، كمشاريع الطرق والسكك الحديدية والمطارات وأقنية الري والسدود وأعمال العمران وتمديدات الماء والكهرباء والمجاري . . . الخ معرفة كميات الخرسانة ولحجسام الحفريات (Excavation or Cuts) (والردميات (Embankments of Fills) المطلوبة للوصول إلى منسوب معين. قد يلزم أيضاً معرفة كميات الحصمة والرمل والندش . . . الخ أو لحجام صهاريج وأحواض المياه ومخازن الغلال وما شابه ذلك. وفي مجالات الهندسة الزراعية والجيولوجية والهيدرولوجية والتعدينية، كثيراً ما يحتاج المهندسون المختصون إلى حساب الكميات من أنواع مختلفة بالإستناد إلى المخططات أو الخرائط أو جداول المناسيب والأحداثيات. هناك بالطبع عدة طرق رياضية تمكن من حساب الحجم المطلوبة ولكنها على درجة متفاوتة من الدقة خصوصاً إذا كان الحجم المطلوب حسابه ولقماً ضمن شكل هندسي (Geometric Shape) غير منتظم. إن عملية الحساب هذه تتطلب عملاً ميدانياً وآخر مكتبياً، أما العمل الميداني فيشتمل على قياس أبعاد الجسم المقتر ودق أوتاد أو علامات مناسبة في مواقع محددة من هذا الجسم، وأما العمل المكتبي فقد يشتمل على حساب الحجم من الأبعاد المقاسة وتخطيط أفضل الطرق لتنفيذ العمل. في أحيان كثيرة، يمكن اللجوء إلى الصور والمخططات والخرائط المتوفرة (والموثوق بدقتها وصلاحياتها) لحساب الحجم المطلوبة دون الحاجة إلى أعمال ميدانية متعبة (أي ربما يلزم فقط بعض القياسات الميدانية المحدودة لأغراض المقارنة وتحقيق الحسابات على سبيل المثال). نستعرض فيما يلي بعض الطرق الشائعة في حساب الحجم .

10-2- الطرق الشائعة في حساب الحجم

10-2-1- طريقة المقطع العرضية (Cross-Section Method)

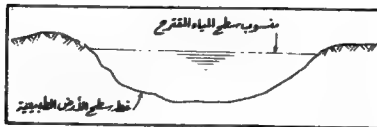
سبق أن عرفنا المقطع العرضي بأنه خط سطح الأرض الطبيعية المتعامد مع اتجاه محدد (Fixed Direction) عند نقطة معينة من محور مشروع ما. فإذا كان المقطع العرضي

وعرض هذا الطريق وميوله الجانبية، يمكن حساب مساحة السطح الترابي المحصور بين خط سطح الأرض الطبيعية وخط سطح الطريق وميوله الجانبية (الجزء المنقط من الشكل 10-1) عند نقطة معينة على محور الطريق.



شكل 10-1- مقطع عرضي في طريق مقترح

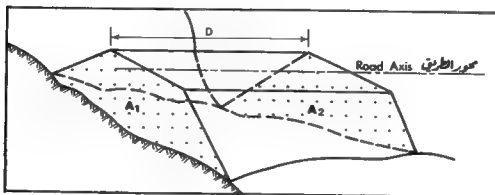
الشكل (10-2)، يبين أيضاً مقطعاً عرضياً في سطح الأرض لحوض تخزين مائي (Water Reservoir) . يتضح من هذا الشكل أنه بمعرفة منسوب سطح المياه المقترح (Proposed Water Level) يمكن حساب مساحة السطح المائي المحصور بين سطح الأرض الطبيعية وخط سطح الماء. بأخذ مقطع عرضية متتالية وعلى مسافات محددة من بعضها وبمعرفة عناصر التصميم المختلفة للمشروع عند كل من هذه المقاطع، يمكن أولاً حساب المساحات المشمولة في هذه المقاطع وتكثيماً حساب الحجم الواقعة بين هذه المقاطع كافة.



شكل 10-2- مقطع عرضي في حوض تخزين مائي.

سنفترض في الفقرات التالية أنه قد تم حساب مساحات مختلف أنواع المقاطع العرضية المتتالية باستخدام إحدى الطرق المناسبة الواردة في القسم الأول، والمطلوب حساب الحجم بمعلومية هذه المساحات. [م 51]

١ . حساب الحجم بطريقة المقطع الوسطي (Average End-Area Method)
في هذه الطريقة، يفترض أن ميل سطح الأرض منتظماً بين كل مقطعين متتاليين وبالتالي فإنه لحساب حجم المادة (الماء أو الخرسانة أو الكميات الترابية . . . الخ) بين كل مقطعين عرضيين متتاليين يؤخذ معدل مساحتي هذين المقطعين ويضرب في المسافة الفاصلة بينهما. دعنا على سبيل المثال، نفترض أن لدينا مقطعين عرضيين متتاليين مساحتهما A_1 و A_2 يقعان كلياً في منطقة حفر (Cut or Excavation Sections) أو كلياً في منطقة ردم (Fill or Embankment Sections) ويتباعداً بمسافة مقدارها D ، شكل (3-10)، فيكون حجم المادة المحصورة بينهما المطلوب إزالتها (حفر) أو إضافتها (ردم) مساوياً :



شكل 3-10- مقطعان متتاليان في منطقة ردم كامل

$$V = D \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \dots\dots\dots (1-10)$$

وعليه إذا كان لدينا سلسلة من المقاطع العرضية المتتالية عددها n وبمسافة ثابتة D بين كل مقطعين عرضيين متتاليين ووالسفن كلياً في منطقة حفر أو كلياً في منطقة ردم، يكون الحجم الكلي التراكمي بين المقطع الأول والأخير المراد إزالته أو إضافته مساوياً :

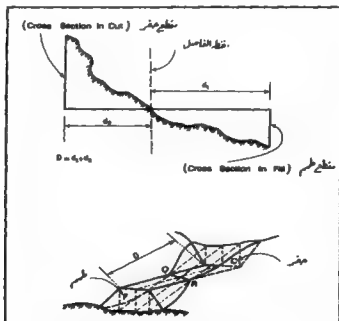
$$V = D \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) + D \left(\frac{A_2 + A_3}{2} \right) + \dots + D \left(\frac{A_{n-1} + A_n}{2} \right)$$

$$V = \frac{D}{2} [A_1 + A_n + 2 (A_2 + A_3 + A_4 + \dots + A_{n-1})]$$

$$V = \frac{D}{2} (\text{First Cross-Section Area} + \text{Last Cross-Section Area} + 2 \times \text{All Remaining Cross-Section Areas})$$

ملحوظات :

1- إذا كان أحد المقطعين طمماً والآخر حفراً فيحسب حجم الحفر وحجم الطمم بين هذين المقطعين على الشكل التالي، شكل (4-10).



شكل 4-10- مقطع طمم ومقطع حفر متتاليان

حيث أن أحد المقطعين يقع كلياً في منطقة حفر والآخر يقع كلياً في منطقة ردم فلا بد إذاً أن يكون هناك خط فاصل بين المقطعين يمثل تقاطع سطح الأرض الطبيعية مع سطح الطريق المصمم. يتولد هذا الخط الفاصل بين المقطعين مع محور الطريق ويبعد عنه كلا المقطعين المرئيين بمسافات تتناسب مع مساحة هذين المقطعين المرئيين . إذا رمزنا بـ d_1 و d_2 للمسافات الجزئية بين الخط الفاصل وكل من المقطعين المرئيين ورمزنا بـ F لمساحة مقطع الردم أو الطمم وبـ C لمساحة مقطع الحفر وبـ D للمسافة بين مقطعي الحفر والردم فيكون :

$$d_1 = D \frac{F}{F + C} \quad \dots\dots\dots (3-10)$$

المسافة الجزئية d_2 بين مقطع الحفر والخط الفاصل تساوي :

$$d_2 = D \frac{C}{F + C} \quad \dots\dots\dots (4-10)$$

الآن يمكن اعتبار الخط الفاصل أو منحنى الانتقال من الحفر إلى الردم أو العكس، مستوى أو مقطع مساحته مساوية للصفر ثم نحسب حجم الحفر الواقع بين الخط الفاصل ذي المساحة صفر ومقطع الطمم بهيكل المساحتين وضربه بالمسافة d_1 أي :

$$V_{\text{fill}} = \frac{1}{2} (0.0 + F)(d_1)$$

وكذلك نحسب حجم الحفر الواقع بين الخط الفاصل ذي المساحة صفر ومقطع الحفر بهيكل معدل المساحتين وضربه بالمسافة d_2 أي :

$$V_{\text{cut}} = \frac{1}{2} (0.0 + C)(d_2)$$

وبالتعويض عن قيم d_1 و d_2 بدلالة المساحات من المعادلتين (3-10) ، (4-10) ينتج لدينا :

$$V_{\text{fill}} = \frac{1}{2} (0.0 + F) \left(\frac{D.F}{F + C} \right)$$

$$V_{\text{fill}} = \frac{1}{2} \left(\frac{F^2}{F + C} \right) (D) \quad \dots\dots\dots (5-10)$$

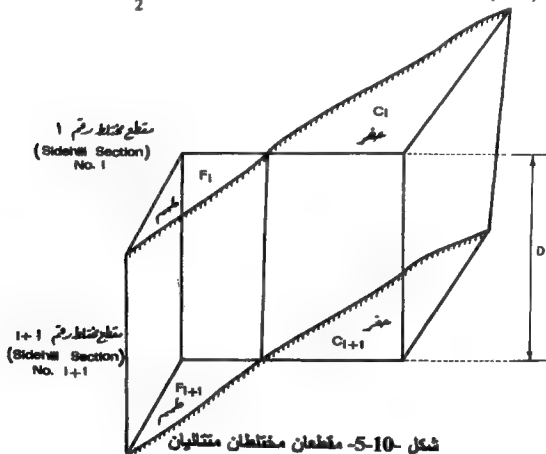
$$V_{cut} = \frac{1}{2} (0.0 + C) \left(\frac{DC}{F+C} \right)$$

$$V_{cut} = \frac{1}{2} \left(\frac{C^2}{F+C} \right) (D) \dots\dots\dots (6-10)$$

2- إذا كان كل من المقطعين العرضيين المتتاليين مقطعين مختلفين (حفر وردم)، شكل (5-10)، فيحسب حجم الردم بينهما بأخذ معدل مساحتي الردم في المقطعين وضربه بالمسافة بين المقطعين وكذلك يحسب حجم الحفر بأخذ معدل مساحتي الحفر في المقطعين وضربه بالمسافة بين المقطعين، أي :

$$V_{fill} = \frac{1}{2} (F_i + F_{i+1}) (D) \dots\dots\dots (7-10)$$

$$V_{cut} = \frac{1}{2} (C_i + C_{i+1}) (D) \dots\dots\dots (8-10)$$



3- إذا كان أحد المقطعين مختلفاً (Sidehill Section) والآخر ردماً ، شكل (a-6-10) ،
فتحسب الحجوم على الشكل التالي :

$$V_{fill} = \frac{1}{2} (F_i + F_{i+1}) (D) \quad \dots\dots\dots (9-10)$$

$$V_{cut} = \frac{1}{3} (C_i) (D) \quad \dots\dots\dots (10-10)$$

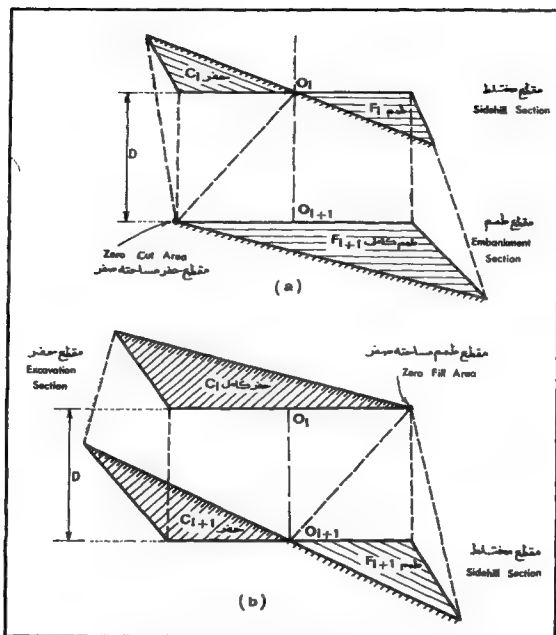
وإذا كان أحد المقطعين مختلفاً والآخر حفراً ، شكل (b-6-10) ، فتحسب الحجوم على
الشكل التالي :

$$V_{fill} = \frac{1}{3} (F_{i+1}) (D) \quad \dots\dots\dots (11-10)$$

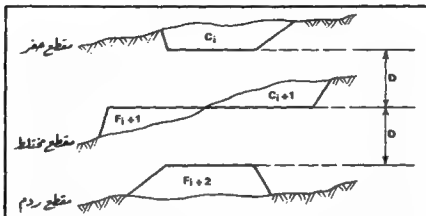
$$V_{cut} = \frac{1}{2} (C_i + C_{i+1}) (D) \quad \dots\dots\dots (12-10)$$

أو

دعنا نفترض أننا سننتقل من منطقة حفر كامل إلى منطقة ردم كامل (أو بالعكس) مروراً
بمقطع مختلف شكل (7-10) . ولنفترض أن المقطع الأول كله حفر ومساحة الحفر فيه C_i
والمقطع الثاني مختلف مساحة الحفر فيه C_{i+1} ومساحة الردم فيه F_{i+1} ، فإنه لا بد أن يكون
الردم قد بدأ من نقطة ما تقع بين المقطع الأول والمقطع الثاني.



شکل 10-6- مقطعان متقابلان لحددهما مختلفات والآخر إما
 طمم کامل (a) أو حفر کامل (b) [51م]



شكل -10-7-

كذلك حيث أن المقطع الثاني مختلط والمقطع الثالث ردم فيه مساحة الردم F_{i+2} فلا بد أن منطقة الحفر قد انتهت عند نقطة ما تقع بين المقطع الثاني والمقطع الثالث. لحساب حجم الردم بين المقطعين الأول والثاني وحجم الحفر بين المقطعين الثاني والثالث نفترض أن كمية الحفر تتناقص تدريجياً بين المقطعين الأول والثاني وتستمر في التناقص بنفس المعدل حتى تبلغ الصفر في نقطة ما بين المقطعين الثاني والثالث. كذلك نفترض أن كمية الردم تتناقص تدريجياً بين المقطعين الثالث والثاني وتستمر في التناقص بنفس المعدل حتى تبلغ الصفر في نقطة ما بين المقطعين الأول والثاني.

إن معدل التناقص في كمية الحفر بين المقطعين الأول والثاني تساوي :

$$\frac{(C_i - C_{i+1})}{D}$$

حيث D هي مقدار التباين بين كل مقطعين عرضيين متتاليين. وعليه فإن كمية الحفر تصبح صفرًا عند نقطة تبعد عن المقطع الثاني باتجاه المقطع الثالث بمقدار d_c . تحسب المسافة d_c بطريقة التناسب أي :

$$\frac{(C_i - C_{i+1})}{D} = \frac{(C_{i+1} - 0.0)}{d_c}$$

$$d_c = \frac{(D \cdot C_{i+1})}{(C_i - C_{i+1})} \dots\dots\dots (13-10)$$

بذلك تكون كمية الحفر بين المقطعين الأول والثاني مساوية :

$$D \left(\frac{C_i + C_{i+1}}{2} \right)$$

وكمية الحفر بين المقطعين الثاني والثالث مساوية :

$$d_c \left(\frac{C_{i+1} + 0.0}{2} \right) = \frac{D}{2} \left(\frac{(C_{i+1})^2}{(C_i - C_{i+1})} \right)$$

ومجموع كمية الحفر بين المقطع الأول والمقطع الثالث تساوي :

$$V_{out} = \frac{D}{2} \left[(C_i + C_{i+1}) + \frac{(C_{i+1})^2}{(C_i - C_{i+1})} \right] \dots\dots\dots (14-10)$$

بالنسبة لكمية الردم المطلوبة، بطريقة مشابهة نقول بأن معدل التناقص في الردم بين المقطعين

الثالث والثاني يساوي :

$$\frac{(F_{i+2} - F_{i+1})}{D}$$

وكمية الردم تصبح صفرًا عند نقطة تبعد عن المقطع الثاني باتجاه

$$\frac{(F_{i+2} - F_{i+1})}{D} = \frac{(F_{i+1} - 0.0)}{d_f}$$

$$d_f = \frac{(D \cdot F_{i+1})}{(F_{i+2} - F_{i+1})} \dots\dots\dots (15-10)$$

بذلك تكون كمية الردم بين المقطعين الثاني والثالث مساوي :

$$D \left(\frac{F_{i+1} + F_{i+2}}{2} \right)$$

وكمية الردم بين المقطعين الأول والثاني مساوية :

$$df \left(\frac{F_{i+1} + 0.0}{2} \right) = \frac{D}{2} \left(\frac{(F_{i+1})^2}{(F_{i+2} - F_{i+1})} \right)$$

ومجموع كمية الردم بين المقطع الأول والثالث تساوي :

$$V_{fill} = \frac{D}{2} \left[(F_{i+1} + F_{i+2}) + \left(\frac{(F_{i+1})^2}{(F_{i+2} - F_{i+1})} \right) \right] \dots\dots (16-10)$$

تمرين : يفترض أن المقطع العرضي الأول كله ردم يليه مقطع مختلف لقطع كله حفر، جد معادلتى حساب كميات الحفر والردم بين المقطعين الأول والثاني.

مثال رقم 10-1-

لديك ثلاثة مقاطع عرضية، المقطع العرضي الأول i كله حفر ومساحته $C_i = 12.1 \text{ m}^2$ ، المقطع العرضي الثاني $i + 1$ مختلف مساحة الحفر فيه : $C_{i+1} = 3.8 \text{ m}^2$ ومساحة الردم فيه : $F_{i+1} = 3.45 \text{ m}^2$ والمقطع العرضي الثالث $i + 2$ كله ردم مساحة الردم فيه $F_{i+2} = 9.25 \text{ m}^2$. المطلوب حساب كميات الحفر والردم للتركمية بين المقطعين الأول والثالث علماً بأن القواعد بين كل مقطعين عرضيين متتاليين يساوي 20.

الحل :

حجم الحفر بين المقطعين الأول والثالث يساوي (معادلة 10-14) :

$$V_{cut} = \frac{D}{2} \left[(C_i + C_{i+1}) + \frac{(C_{i+1})^2}{(C_i - C_{i+1})} \right]$$

$$V_{\text{cont}} = \frac{20}{2} \left[(12.1 + 3.8) + \left(\frac{(3.8)^2}{12.1 - 3.8} \right) \right]$$

$$V_{\text{cont}} = 176.40 \text{ m}^3$$

ويتطبيق معادلة (10-16) :

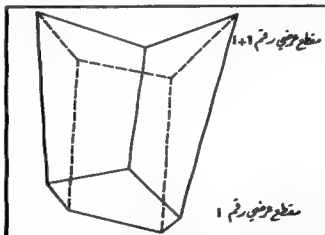
$$V_{\text{ell}} = \frac{D}{2} \left[(F_{i+1} + F_{i+2}) + \frac{(F_{i+1})^2}{(F_{i+2} - F_{i+1})} \right]$$

$$V_{\text{ell}} = \frac{20}{2} \left[(3.45 + 9.25) + \frac{(3.45)^2}{(9.25 - 3.45)} \right]$$

$$V_{\text{ell}} = 147.52 \text{ m}^3$$

ب . حساب الحجم بطريقة قانون الموشور (Prismoidal Formula Method)

نفترض في هذه الطريقة أن كل ثلاثة مقاطع عرضية متتالية تأخذ شكل مستطيلي (Rectangular Prism) لو اسفين موشوري (Prismatic Wedge) أو هرم (Pyramid) . لحساب الحجم الكلي نفترض أن المادة تأخذ شكلاً شبه موشوري (Prismoid)⁴ شكل (8-10)، يتكون من سلسلة من الموشور المستطيلة والأسافين (الأوتاد) الموشورية والأهرامات. سنرى في الفقرات التالية أن قانون حساب الحجم ثابت لا يتغير سواء كانت مجموعة المقاطع العرضية الثلاثة المتتالية على شكل موشور مستطيلي أو اسفين أو هرمي .



شكل 8-10- مقطعان عرضيان متتاليان ومتوازيان يتصلان ببعض بواسطة سطوح مستوية متعددة ليست بالضرورة متوازية. المادة بين المقطعين تأخذ شكلاً شبه موشوري

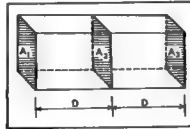
1- حالة الموشور المستطيلي (The Rectangular Prism)

دعنا نفترض في الشكل (9-10)، أن مساحة المقطع العرضي الأول A_1 والثاني A_2 والثالث A_3 وأن المسافة بين كل مقطعين متتاليين تساوي D . بالنظر لكون الموشور مستطيلي فإن $A_1 = A_2 = A_3$ وعليه فإن حجم المادة المحصورة بين المقطع الأول والثالث يساوي :

$$\text{Volume} = A_1 \times 2D = 2A_1D$$

$$\text{Volume} = \frac{D}{3} (6A_1) \quad \text{لو :}$$

$$\text{Volume} = \frac{D}{3} (A_1 + 4A_2 + A_3) \dots\dots\dots \text{لو : (17-10)}$$



شكل 9-10- الموشور المستطيلي

2- حالة الاسفين (الموشور) (The Prismatic Wedge)

بافتراض أن مساحة المقطع العرضي الأول A_1 والثاني A_2 والثالث A_3 وأن المسافة بين كل مقطعين متتاليين D ، شكل (10-10)، فإن حجم المادة المحصورة بين المقطع الأول والثالث تساوي :

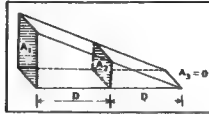
$$\text{Volume} = \frac{A_1}{2} \times 2D = A_1D = \frac{D}{3} (3A_1)$$

$$A_3 = 0 , \quad A_2 = \frac{A_1}{2} \quad \text{وحيث أن :}$$

$$3A_1 = A_1 + 4A_2 + A_3 \quad \text{فإن :}$$

$$\text{Volume} = \frac{D}{3} (A_1 + 4A_2 + A_3)$$

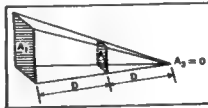
وهي نفس المعادلة (17-10).



شكل 10-10- الاسفين الموشوري

3- حالة الهرم (The Pyramid)

كذلك، في حالة الهرم، إذا كانت مساحة المقطع العرضي الأول A_1 والثاني A_2 والمسافة بين كل مقطعين متتاليين D ، شكل (11-10)، فإن حجم المادة المحصورة بين المقطع الأول والثالث يساوي :



شكل 11-10- الهرم

$$\text{Volume} = \frac{A_1}{3} \times 2D = \frac{D}{3} (2A_1)$$

$$A_1 = 4A_2$$

وحيث أن :

$$2A_1 = A_1 + 4A_2 + A_3$$

فإن :

وبالتالي فإن حجم المادة يعطى بالمعادلة :

$$\text{Volume} = \frac{D}{3} (A_1 + 4A_2 + A_3)$$

وهي نفس المعادلة (17-10).

في الحالات الثلاثة لقطة الفكر (الموشور المستطيلي والاسفين والهرم)، إذا كان لدينا عدة مجموعات متتالية من المقاطع العرضية كل مجموعة منها تتألف من ثلاثة مقاطع عرضية متتالية وكل مقطع عرضيين متتاليين يتباعداً بمسافة ثابتة D فإن الحجم الكلي التراكمي المحسوب بين المقطع الأول رقم 1 من المجموعة الأولى والمقطع الأخير رقم n من المجموعة الأخيرة يساوي :

$$\text{Volume} = \frac{D}{3} [(A_1 + 4A_2 + A_3) + (A_3 + 4A_4 + A_5) + \dots + (A_{n-2} + 4A_{n-1} + A_n)]$$

$$\text{Volume} = \frac{D}{3} [A_1 + A_n + 4 (A_2 + A_4 + A_6 + \dots + A_{n-1}) + 2 (A_3 + A_5 + A_7 + \dots + A_{n-2})] \quad (18-10)$$

$$\text{Volume} = \frac{D}{2} [\text{First Cross-Section Area} + \text{Last Cross-Section Area} + 4 (\text{Sum of all Even Cross-Section Areas}) + 2 (\text{Sum of all Remaining Odd-Section Areas})]$$

ملحوظات :

- 1- بخلاف طريقة المقطع الوسطي (Average End-Area Method) التي يمكن تطبيقها على أي عدد من المقاطع العرضية سواء كان زوجياً أم فردياً، فإن طريقة قانون الموشور (Prismoidal Formula) لا تطبق الا على عدد فردي من المقاطع العرضية ذلك لأنها بنيت على أسس مجاميع كل منها مكون من ثلاثة مقاطع (أي عدد فردي) . لذلك ، إذا كان عدد المقاطع العرضية زوجياً فيجوز تطبيق طريقة قانون

الموشور على الحد الفردي الأعظمي من المقطع العرضية المتباعدة عن بعضها بمسافات متساوية ثم حساب حجم الجزء المتبقى بتطبيق طريقة المقطع الوسطي.

2- ليس من الضروري عند تطبيق طريقة قانون الموشور أن يكون التباعد متساوياً بين كافة المقاطع العرضية إذ يمكن أن يكون لدينا عدة فئات، كل فئة تختلف عن الأخرى من حيث عدد المقاطع الفردية أو من حيث التباعد بين كل مقطعين عرضيين متتاليين أو من حيث العدد والتباعد معاً.

3- نلاحظ أن قانون حساب الحجم بتطبيق طريقة قانون الموشور يشبه تماماً من حيث الشكل قاعدة سمبسون (Simpson's Rule) في حساب المساحات. إن الفرق الواضح بينهما هو أن مساحات المقاطع العرضية عند حساب الحجم تحمل محل أطوال الأضلاع في قانون حساب المساحات.

4- إن حساب حجم الحفر والردم سواء بطريقة المقطع الوسطي أو بطريقة قانون الموشور يعطي دقة مناسبة وكافية فيما إذا كانت الأرض الطبيعية ما بين المقطعين المتجاورين منتظمة نسبياً وأن الخطأ الناتج يكون ثاراً موجباً وثاراً أخرى سالبة أي يلغي بعضه بعضاً.

مثال رقم 10-2-

أخذت مقطع عرضية على محور طريق مقترح وحسبت مساحتها بعد أخذ عناصر التصميم (عرض الطريق ومنسوب التصميم وميول الجوانب) بعين الاعتبار فكانت واقعة جميماً في منطقة ردم وبالمقادير التالية :

رقم المقطع العرضي Cross-Section No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
التدرج أو المحطة Chaniage	0.0	20.0	40.0	60.0	80.0	100.0	120.0	140.0	155.0
مساحة الردم Area of Fill (m ²)	10.5	12.6	13.4	13.1	16.7	16.2	16.0	14.3	13.2

المطلوب حساب كمية الردم اللازمة بين المقطع الأرضي رقم 1 والمقطع العرضي رقم 9 باستخدام طريقتي المقطع الوسطي وقانون الموشور.

الحل :

١ . بطريقة المقطع الوسطي (Average End-Area Method)

نلاحظ أن المسافة بين كل مقطعين عرضيين متتاليين متساوية حتى المقطع العرضي رقم 8 وتساوي 20m، أما المسافة بين المقطعين الثامن والتاسع فتختلف إذ تساوي 15m، لذلك سنحسب أولاً حجم الردم المطلوب بين المقطع رقم 1 والمقطع رقم 8 ثم بعدهما وبشكل مستقل نحسب الحجم بين المقطع العرضي رقم 8 والمقطع رقم 9 ثم نجمع الحجمين فينتج الحجم الكلي المطلوب ، أي :

$$\text{Volume} = \frac{D}{2} [A_1 + A_n + 2 (A_2 + A_3 + \dots + A_{n-1})]$$

حيث هنا : n = 8

$$\text{Volume}_1 = \frac{D}{2} [(A_1 + A_8 + 2 (A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 + A_7))]$$

$$\text{Volume}_1 = \frac{20}{2} [(10.5 + 14.3) + 2 (12.6 + 13.4 + 13.1 + 16.7 + 16.2 + 16.0)]$$

$$\text{Volume}_1 = 2008 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume} = \frac{D}{2} (A_8 + A_9)$$

$$\text{Volume}_2 = \frac{15}{2} (14.3 + 13.2) = 206.25 \text{ m}^3$$

$$\text{Total Volume} = \text{Volume}_1 + \text{Volume}_2 = 2008 + 206.25 = 2214.25 \text{ m}^3$$

ب. بطريقة قانون الموشور (Prismoidal Formula)

هنا على الرغم من تساوي المسافات بين المقطع العرضية حتى المقطع رقم 8 غير أننا لا نطبق قانون الموشور إلا على المقطع السبعة الأول، باعتبارها الحد الفردي الأعظم. أما حجم المادة بين المقطع السابع والمقطع التاسع فيجري حسابه بتطبيق طريق المقطع الوسطي، أي :

$$\text{Volume}_1 = \frac{D}{3} [A_1 + A_n + 4 (A_2 + A_4 + \dots + A_{n-1}) + 2 (A_3 + \dots + A_{n-2})]$$

$$\text{Volume}_1 = \frac{D}{3} [A_1 + A_7 + 4 (A_2 + A_4 + A_6) + 2 (A_3 + A_5)]$$

$$\text{Volume}_1 = \frac{20}{3} [10.5 + 16.0 + 4 (12.6 + 13.1 + 16.2) + 2 (13.4 + 16.7)]$$

$$\text{Volume}_1 = 1695.33\text{m}^3$$

$$\text{Volume}_2 = \frac{20}{2} (A_7 + A_8) + \frac{15}{2} (A_8 + A_9)$$

$$\text{Volume}_2 = 10 (16 + 14.3) + 7.5 (14.3 + 13.2) = 509.25\text{m}^3$$

$$\text{Total Volume} = \text{Volume}_1 + \text{Volume}_2 = 2204.58\text{m}^3$$

ملحوظات :

1- لاحظ أن الفرق بين الكميتين المحسوبتين بطريقتي المقطع الوسطي وقانون الموشور بسيط وهو ناشئ عن كون كلتي الطريقتين تقريبيتان وإن كانت طريقة قانون الموشور أكثر دقة

من طريقة المقطع الوسطي . على كل حال ، إن مقدار الاختلاف بين الطريقتين يتغير من حالة لأخرى (حسب طبيعة أرض المشروع ودقة قياس المناسيب وتباعدات المقاطع عن بعضها) ولكن يبقى بسيطاً مقارنة بالحجم الكلي .

2- لمعرفة الفرق بين الحجم الذي تعطيه طريقة المقطع الوسطي والحجم الذي تعطيه طريقة قانون الموشور ، دعنا نفترض أن لدينا مجموعة من ثلاثة مقاطع عرضية متتالية مساحتها A_1 و A_2 و A_3 وتبعد عن بعض بمسافة D . كذلك دعنا نرمز بـ V_E للحجم الناتج بتطبيق طريقة المقطع الوسطي وبـ V_P للحجم الناتج بتطبيق طريقة قانون الموشور ، وعليه فلن :

$$V_E = \frac{D}{2} (A_1 + 2A_2 + A_3)$$

$$V_P = \frac{D}{3} (A_1 + 4A_2 + A_3)$$

ومقدار الفرق أو التصحيح اللازم إدخاله على الحجم الناتج بتطبيق طريقة المقطع الوسطي يساوي :

$$\text{Correction} = V_E - V_P$$

$$\text{Correction} = \frac{D}{2} (A_1 + 2A_2 + A_3) - \frac{D}{3} (A_1 + 4A_2 + A_3)$$

$$\text{Correction} = \frac{D}{6} (3A_1 + 6A_2 + 3A_3 - 2A_1 - 8A_2 - 2A_3)$$

$$\text{Correction} = \frac{D}{6} (A_1 - 2A_2 + A_3)$$

وبالتالي إذا كان لدينا عدة مجموعات متتالية كل واحدة مكونة من ثلاثة مقاطع متتالية فإن مقدار التصحيح يصبح مساوياً (المسافات متساوية بين المقاطع المتتالية) :

$$\text{Correction} = \frac{D}{6} (A_1 - 2A_2 + A_3) + \frac{D}{6} (A_3 - 2A_4 + A_5) + \dots + \frac{D}{6} (A_{n-2} - 2A_{n-1} + A_n)$$

$$\text{Correction} = \frac{D}{6} [A_1 + A_n - 2(A_2 + A_4 + A_6 + \dots + A_{n-1}) + 2(A_3 + A_5 + \dots + A_{n-2})] \dots (19-10)$$

$$\text{Correction} = \frac{D}{6} [\text{First Cross-Section Area} + \text{Last Cross-Section Area} - 2 \times \text{Sum of all even Cross-Section Areas} + 2 \times \text{Sum of all Remaining Odd Cross-Section Areas}]$$

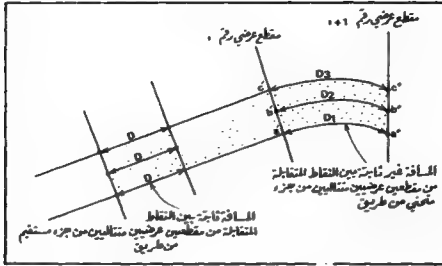
حيث n تساوي العدد الفردي الأعظمي للمقاطع العرضية المتباعدة بمسافات متساوية.

من الضروري إجراء التصحيح هذا (Prismoidal Correction) على الحجم الناتج بطريقة المقطع الوسطي وذلك بطرحه إن كان موجباً وإضافته إن كان سالباً.

3- عند مناطق المنحنيات الأفقية (Horizontal Curves) من الطريق ، لا تكون المسافات

بين النقاط المتقابلة من المقاطع العرضية المتجاورة متساوية وثابتة بل تكون أقرب لبعضها

كلما إقتربت من الجزء الداخلي للمنحنى (جهة مركز التقوس) . في الشكل (10-12) ، على سبيل المثال ، النقاط c' و b' و a' واقعة على مقطع عرضي رقم i وتقابل النقاط c'' و b'' و a'' من المقطع العرضي رقم i + 1 وكلتا المقطعين واقعتان على لحد الأجزاء المنحنية من الطريق .



شكل -10-12- [55م]

إن المسافة D_1 بين النقطتين a' و a'' أصغر من المسافة D_2 بين النقطتين b' و b'' وهذه الأخيرة بدورها أصغر من المسافة D_3 بين النقطتين c' و c'' . ينجم عن هذا خطأ في تقدير الكميات بتطبيق طريقتي المقطع الوسطي وقانون الموشور . يمكن تصحيح هذا الخطأ باستبدال المسافة D_c (المسافة بين مركزي ثقل المقطعين المتتاليين) بالمسافة D (الواردة في معادلات حساب الحجم المسابقة) . على كل حال ، يسدر عملياً أخذ هذا التصحيح بعين الاعتبار بالنظر للأسباب التالية :

أ . في حالات كثيرة ، يكون مقدار الخطأ هذا أصغر من التباين الذي ينشأ عند حساب حجم المادة بطريقتين مختلفتين كطريقتي المقطع الوسطي وقانون الموشور .

ب . تعتبر المسافة بين كل مقطعين عرضيين متتاليين صغيرة إذا ما قورنت بنصف قطر المنحنى الأفقي للطريق .

جـ . إن هذا الخطأ ذو طبيعة تعويضية ، أي أن الفروق تكون تارة بالزيادة وتارة أخرى بالنقصان ويتلاشى الجانب الأعظم منها عند حساب الحجم الكلي على طول المحسى الألفي .

مثال رقم 10-3-

بحسب الفرق بين كميتي الردم الناتجتين عن تطبيق طريقة المقطع الوسطي وطريقة قانون الموشور على المعلومات الواردة في المثال رقم (10-2) حسب المعادلة (10-19) .

الحل :

حيث أن طريقة قانون الموشور قد طبقت فقط على العدد الفردي الأعظمي للمقاطع العرضية في المثال رقم (10-2) والبالغ سبعة بينما يجري تطبيق المقطع الوسطي على الجزء المحصور بين المقطع السابع والمقطع التاسع (المقطع الأخير) ، لذا فلا إختلاف بين الطريقتين فيما يتعلق بهذا الجزء وإنما الإختلاف ناجم فقط عن حساب الحجم المحصور بين المقطع الأول والمقطع السابع وعليه :

$$\text{Correction} = \frac{D}{6} [A_1 + A_n - 2 (A_2 + A_4 + \dots + A_{n-1}) + 2 (A_3 + \dots + A_{n-2})]$$

$$\text{Correction} = \frac{D}{6} [A_1 + A_7 - 2 (A_2 + A_4 + A_6) + 2 (A_3 + A_5)]$$

$$\text{Correction} = \frac{20}{6} [10.5 + 16.0 - 2 (12.6 + 13.1 + 16.2) + 2 (13.4 + 16.7)]$$

$$\text{Correction} = 9.7 \text{ m}^3$$

وبالفعل فقد كان الحجم المحسوب بطريقة المقطع الوسطي مساوياً 2214.25 m^3 والحجم المحسوب بطريقة قانون الموشور مساوياً 2204.58 m^3 ، أي أن الفرق يساوي أيضاً :

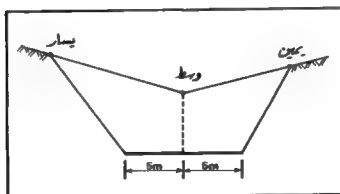
$2204.58 - 2214.25 = +9.7 \text{ m}^3$ إن هذا الفرق الموجب يجب أن يطرح من المقدار المحسوب بطريقة المقطع الوسطي .

مثال رقم 4-10

لديك المقطعان العرضيان $i + 1$ و i التاليان ، شكل رقم (10-13) :

Cross-Section No. رقم المقطع	Left يسار	Center وسط	Right يمين
i	$\frac{C2.81}{12.9}$	$\frac{C1.89}{0.00}$	$\frac{C2.19}{12.4}$
$i + 1$	$\frac{C2.01}{11.50}$	$\frac{C1.25}{0.00}$	$\frac{C1.73}{11.90}$

المطلوب حساب حجم التربة بين هذين المقطعين بطريقتي المقطع الوسطي وقانون الموشور علماً بأن المسافة D بينهما تساوي 30m وعرض الطريق 10m .



شكل 10-13- الشكل العام للمقطعين العرضيين $i, i + 1$
في المثال رقم 4-2

الحل :

١ . بطريقة المقطع الوسطي

يمكن حساب مساحة المقطع الأول i بتطبيق المعادلة (45-10)

$$\text{Area} = \frac{W}{2} (h_i + h_r) + \frac{V}{2} (d_i + d_r)$$

حيث :

$$W = \frac{10}{2} = 5\text{m} , \quad h_i = 2.81\text{m} , \quad h_r = 2.19\text{m}$$

$$V = 1.89\text{m} , \quad d_i = 12.9\text{m} , \quad d_r = 12.4\text{m}$$

$$\text{Area}_i = \frac{5}{2} (2.81 + 2.19) + \frac{1.89}{2} (12.9 + 12.4)$$

$$\text{Area}_i = 36.41 \text{ m}^2$$

كذلك بطريقة مشابهة ، مساحة المقطع العرضي الثاني i + 1 تساوي :

$$\text{Area}_{i+1} = \frac{5}{2} (2.01 + 1.73) + \frac{1.25}{2} (11.50 + 11.90)$$

$$\text{Area}_{i+1} = 23.98 \text{ m}^2$$

وعليه فإن حجم المادة المحصورة بين المقطعين تساوي :

$$\text{Volume} = \frac{D}{2} (A_i + A_{i+1}) = \frac{30}{2} (36.41 + 23.98) = 905.85 \text{ m}^3$$

ب . بطريقة قانون الموشور :

حيث أنه لدينا مقطعين عرضيين فقط ، لذا نقوم بتصوير مقطع عرضي ثالث m يقع في منتصف المسافة بين المقطعين i و i + 1 ونعطيه أبعاداً (مسافات ومناسوب) تساوي

الوسطي الحسابي لأبعاد المقطعين i و $i+1$ ثم نحسب مساحته على أساس هذه الأبعاد لاحظ أنه لا يجوز حساب مساحة المقطع الأوسط هذا بأخذ الوسط الحسابي لمساحتي المقطعين i و $i+1$ وإذا تم ذلك قلن يكون هناك فرق بين النتيجة التي تعطونها طريقة المقطع الوسيط والنتيجة التي تعطونها طريقة قانون الموشور . كذلك لاحظ أن المسافة D بين كل مقطع والذي يليه تصبح الآن مساوية $15m$ وليس $30m$. لنكتب الآن من جديد أبعاد المقطعين i و $i+1$ والأبعاد المشتقة للمقطع الوسيط m .

Cross-Section No	Left يسار	Center وسط	Right يمين
	C2.81	C1.89	C2.19
	12.9	0.00	12.4
	$C = (2.81 + 2.01) / 2$	$C = (1.89 + 1.25) / 2$	$C = (2.19 + 1.73) / 2$
m	$(12.9 + 11.5) / 2$	0.00	$(12.4 + 11.9) / 2$
	C2.01	C1.25	C1.73
i + 1	11.5	0.00	11.9

أي أن المعلومات الخاصة بالمقطع m تصبح :

C 2.41	C 1.57	C 1.96
12.2	0.00	12.15

ومساحته تساوي :

$$A_{\text{area } m} = \frac{5}{2} \left(12.14 + 1.96 \right) + \frac{1.57}{2} \left(12.2 + 12.15 \right) = 30.04m^2$$

وعليه يكون الحجم مساوياً :

$$V_{\text{volume}} = \frac{D}{3} \left(A_0 + 4A_m + A_{i+1} \right)$$

$$V_{\text{volume}} = \frac{15}{3} \left(36.41 + 4(30.04) + 23.98 \right) = 902.75m^3$$

لاحظ أن الحجم المصوب بطريقة قانون الموشور أقل من الحجم المصوب بطريقة المقطع العرضي الوسطي ولقرب إلى الحجم الحقيقي .

كتحقيق للصلاية نقول بأن الحجم بطريقة المقطع الوسطي وبأخذ المقاطع الثلاثة بعين الاعتبار يساوي :

$$\text{Area} = \frac{D}{2} (A_i + 2A_m + A_{i+1})$$

$$\text{Area} = \frac{15}{2} (36.41 + 2(30.04) + 23.98) = 903.53 \text{ m}^3$$

لاحظ أن المسافة بين المقطع والآخر أصبحت تساوي بعد إدخال المقطع الأوسط 15m . أما مقدار التصحيح (Prismoidal Correction) فيساوي :

$$\text{Prismoidal Correction} = \frac{D}{8} (A_i + A_{i+1} - 2A_m)$$

$$\text{Prismoidal Correction} = \frac{15}{8} (36.41 + 23.98 - 2(30.04))$$

$$\text{Prismoidal Correction} = 0.78 \text{ m}^3$$

وبالتالي :

$$903.53 - 0.78 = 902.75 \text{ m}^3$$

وهي القيمة التي نتجت بتطبيق طريقة قانون الموشور ، أي أن الصلاية صحيحة .

ملاحظات عامة حول طريقتي المقطع الوسطي وقانون الموشور

في حساب الحجم [م17] [م24] [م31] [م37] [م55]

1- تعتبر طريقة المقطع الوسطي من أكثر طرق حساب حجوم الكميات الترابية شيوعاً بالنظر لسهولة تطبيقها ولكون الحجم المحسوب أكبر قليلاً من الحقيقة وبالتالي فإن الخطأ يكون لصالح المتعهد (في أغلب الأحيان) .

2- إن طريقتي المقطع الوسطي وقانون الموشور تفرقتان وتزداد دقتهما كلما قل الفرق بين مساحة مقطع عرضي والذي يليه حتى إذا تساوت مساحتا مقطعين متتاليين وكان ميل سطح الأرض بينهما منتظماً كان الحجم المحسوب للمادة المحصورة بين هذين المقطعين صحيحاً تماماً. كذلك تزداد الدقة كلما صغرت المسافة بين المقاطع العرضية المتتالية خصوصاً في الأراضي الوعرة.

3- يجب الربط بين دقة طريقة المقطع الوسطي ودقة قياس مناسيب المقطع العرضية الداخلة في الحساب . كذلك يجب أخذ تكاليف الأعمال الترابية بعين الاعتبار عند قبول أو رفض هذه الطريقة.

4- في معظم الحالات ، ويشكل عام يكون الحجم المحسوب بتطبيق طريقة المقطع الوسطي أكبر من الحجم الحقيقي أو أكبر من الحجم المحسوب بتطبيق طريقة قانون الموشور . لاحظ مثلاً أن حجم الهرم يساوي بتطبيق طريقة المقطع الوسطي حاصل ضرب نصف مساحة قاعدته في ارتفاعه بينما يساوي بتطبيق طريقة قانون الموشور حاصل ضرب ثلث مساحة قاعدته في ارتفاعه (هذا هو الصحيح) .

5- تكثر المقاطع العرضية المختلفة (Sidehill Sections) في حالات الطرق التي تجتاز سفوح الجبال حيث ينتقل المقطع الواحد من حفر إلى ردم أو بالعكس ولا بد في هذه الحالات من حساب الحجم بشكل خاص كما مر معنا سابقاً .

6- يجب تجنب إستخدام طريقة المقطع الوسطي في حساب حجوم الأجزاء التي تأخذ شكل المجسمات الهرمية (Pyramidal Solids) أو لشكال المجسمات الإسفينية (Wedge-Shaped Solids) واللجوء إلى طريقة قانون الموشور في مثل تلك الحالات.

7- يمكن تطبيق طريقة قانون الموشور بدقة وفعالية في حساب حجوم جميع المجسمات الهندسية التي تأخذ لشكلاً شبيه موشورية ذات أطراف متائلة (Triangular End Section) وجوانب سطوحها ملتوية (Warped Surface) وهذا ينطبق إلى حد كبير على الأعمال للترابية والطرق والسكك والسدود وأقنية الري.... الخ .

8- ينصح بعدم إستعمال طريقة المقطع الوسطي والتقيد بتطبيق طريقة قانون الموشور في الحالات التالية :

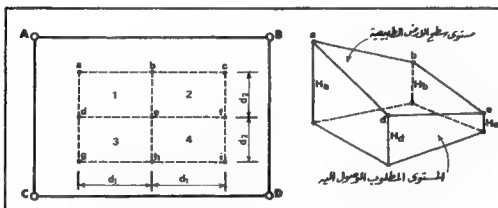
- أ . عند الحاجة إلى دقة عالية في حساب الحجم .
- ب. عند وجود إختلاف ملحوظ بين مساحة مقطع عرضي والذي يليه لوعورة وعدم إنتظام سطح الأرض الطبيعية .
- جـ. عند حساب حجوم الكميات الخرسانية والخفريات الصخرية .
- د . عندما تكون المقاطع العرضية على مسافات قريبة جداً من بعضها .

9- عند الحاجة إلى دقة عالية في حساب الحجم ، يمكن إستخدام طريقة المقطع الوسطي مع إجراء التصحيح الموشوري (Prismoidal Correction) بدلاً من التطبيق المباشر لطريقة قانون الموشور إذا وُجد في ذلك سهولة أكثر .

10-2-2- حساب الحجم من مناسيب للتقاط :

في حالات المساحات الصغيرة المناسبة لإقامة بعض الأبنية والمنشآت العمرانية المتفرقة ، يمكن حساب كميات الحفر والردم بقياس مناسيب مجموعة من النقاط هي عبارة عن زوايا (أركان) لمربعات أو مستطيلات صغيرة تغطي الجزء المطلوب من سطح الأرض . بمعرفة مناسيب هذه النقاط بالنسبة لمستوى مرجعي معين (Reference Datum) ومعرفة المنسوب المطلوب الوصول إليه ، يمكن حساب عمق الحفر أو الردم اللازم عند كل من هذه النقاط .

ليكن لدينا على سبيل المثال ، قطعة الأرض ABCD ومجموعة النقاط
 a , b , c , d , e , f , g , h , i
 (14-10) ، يفترض أن المنسوب المراد الوصول إليه معلوم فيمكن تعيين عمق الحفر أو
 الردم اللازم عند كل من هذه النقاط . دعنا نفترض أيضاً أن هذه النقاط مقيسة المناسيب
 (بواسطة جهاز التسوية Level على سبيل المثال) موزعة على شكل زوايا مستطيلات
 صغيرة ذات أبعاد محددة d1 و d2 وأن عمق الحفر عند كل منها هو
 Ha , Hb , Hc , Hd , He , Hf , Hg , Hh , Hi
 على الترتيب. لنأخذ الآن الجزء المستطيلي
 abcd ونحسب حجم الحفر المطلوب إنجازه ضمن حدوده .



شكل 14-10- طريقة مناسيب النقاط في حساب الحجم [55م]

من الواضح أن مساحة هذا المستطيل تساوي $d1 \times d2$ ، أما معدل عمق (Average Depth)
 الحفر المطلوب للمستطيل ذاته فيمكن إعتباره مساوياً للمتوسط الحسابي لأعماق الحفر
 المطلوبة عند زواياه الأربع ، أي :

$$\text{معدل عمق (Average Depth)} = \frac{H_a + H_b + H_d + H_c}{4}$$

وبالتالي يمكن حجم الحفر اللازم ضمن المستطيل الأول abcd مساوياً :

$$\text{Volume} = \text{Plan Area} \times \text{Average Depth}$$

$$\text{Volume}_1 = d1.d2 \left(\frac{H_a + H_b + H_d + H_e}{4} \right)$$

بطريقة مشابهة يكون حجم الحفر اللازم ضمن المستطيل الثاني bcef مساوياً :

$$\text{Volume}_2 = d1.d2 \left(\frac{H_b + H_c + H_e + H_f}{4} \right)$$

وحجم الحفر اللازم ضمن المستطيل الثالث degh مساوياً :

$$\text{Volume}_3 = d1.d2 \left(\frac{H_d + H_e + H_g + H_h}{4} \right)$$

وأخيراً حجم الحفر اللازم ضمن المستطيل الرابع efhi مساوياً :

$$\text{Volume}_4 = d1.d2 \left(\frac{H_e + H_f + H_h + H_i}{4} \right)$$

أما حجم الحفر الكلي المطلوب على كامل مساحة المستطيل الكبير acgi فيساوي مجموع هذه الحجوم الجزئية أي :

$$\text{Volume}_{\text{total 1}} = \text{Volume}_1 + \text{Volume}_2 + \text{Volume}_3 + \text{Volume}_4$$

$$\text{Volume}_{\text{total 1}} = \frac{d1 \cdot d2}{4} [(H_a + H_b + H_d + H_e) + (H_b + H_c + H_e + H_f) + (H_d + H_e + H_g + H_h) + (H_e + H_f + H_h + H_i)]$$

$$\text{Volume}_{\text{total 1}} = \frac{d1 \cdot d2}{4} [1 (H_a + H_c + H_g + H_i) + 2 (H_b + H_d + H_f + H_h) + 4 (H_e)]$$

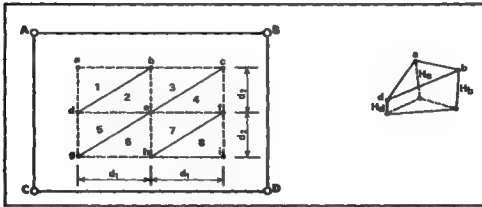
لاحظ أن نقاط أركان المستطيلات الصغيرة لا تساهم بنفس المقدار في حساب الحجم الكلي فبعضها لا تظهر مناسبتها في المعادلة إلا مرة واحدة وبعضها الآخر تتكرر مناسبتها مرتين أو أربع مرات .

ملحوظات :

1- بملاحظة شبكة المستطيلات الصغيرة يمكن بسهولة معرفة عدد المستطيلات التي تشارك فيها كل نقطة وبالتالي عدد المرات التي يتكرر منسوب كل نقطة في معادلة حساب الحجم.

2- في حالة قطع الأراضي الكبيرة ، تصبح معادلة حساب الحجم كبيرة نسبياً ومع ذلك تبقى بسيطة وسهلة التشكيل .

3- بدلاً من تقسيم المستطيل الكبير $acgi$ إلى المستطيلات الجزئية الأربعة ، $abde$ و $bcef$ ، $degh$ ، $efhi$ ، يمكن أيضاً تقسيمه إلى ثمانية مثلثات ، شكل (10-15)، هي abd و bde و bce و cef و efh و fhi و efi و edg ويحسب حجم الحفر المطلوب لكل مثلث ثم تجمع مع بعض.



شكل 10-15- [55م]

بشكل شبيه لما ذكرنا أعلاه ، يمكن اعتبار معدل عمق الحفر المطلوب لكل مثلث مساوياً للمتوسط الحسابي لأعماق الحفر المطلوبة عند زواياه الثلاث . مثلاً معدل عمق الحفر المطلوب للمثلث الأول abd يساوي :

$$(\text{Average Depth})_{abd} = \frac{H_a + H_b + H_d}{3}$$

أما حجم الحفر المطلوب إتجاره ضمن هذا المثلث الأول abd فيساوي :

$$\text{Volume} = \text{Plan Area} \times \text{Average Depth}$$

$$\text{Volume}_1 = \left(\frac{d_1 \times d_2}{2} \right) \left(\frac{H_a + H_b + H_d}{3} \right) = \frac{d_1 \times d_2}{6} (H_a + H_b + H_d)$$

وبطريقة مشابهة يكون حجم الحفر لكل من المثلثات السبعة المتبقية مساوياً :

$$\text{Volume}_2 = \frac{d_1 \times d_2}{6} (H_b + H_d + H_e)$$

$$\text{Volume}_3 = \frac{d_1 \times d_2}{6} (H_b + H_c + H_e)$$

$$\text{Volume}_4 = \frac{d_1 \times d_2}{6} (H_c + H_e + H_f)$$

$$\text{Volume}_5 = \frac{d_1 \times d_2}{6} (H_d + H_e + H_g)$$

$$\text{Volume}_6 = \frac{d_1 \times d_2}{6} (H_e + H_g + H_h)$$

$$\text{Volume}_7 = \frac{d_1 \times d_2}{6} (H_e + H_f + H_h)$$

$$\text{Volume}_8 = \frac{d_1 \times d_2}{6} (H_f + H_h + H_i)$$

4- البعض يطلق على هذه الطريقة بـ " طريقة حفرة الإمداد " (Borrow-Pit Method)
والبعض الآخر يطلق عليها بـ " طريقة وحدة المساحة " (Unit-Area Method).

5- تصلح هذه الطريقة بشكل خاص في حساب كميات الأتربة (Earth) والحصمة أو
البحص (Gravel) والصخور الموجودة في مناطق محددة ويراد إزالتها أو نقلها إلى
مواقع طرق أو مطارات أو سدود أو أبنية تحت الإنشاء وذلك لغايات الردم أو التعميد وما
إلى ذلك .

أما حجم الحفر الكلي المطلوب على كامل مساحة المستطول الكبير $acgi$ فوساوي مجموع
هذه الحجوم الجزئية ، أي :

$$Volumetotal = \frac{d_1 + d_2}{6} [1 (H_a + H_i) + 2 (H_c + H_g) + 3 (H_b + H_d + H_f + H_h) + 6 (H_e)]$$

لاحظ هنا أنه وإن كانت العمليات الحسابية ، باتباع طريقة المثلثات ، أطول من طريقة
المستطيلات إلا أنها أدق بعض الشيء خصوصاً إذا طبقت في حالات الأراضي الوعرة
(Rough Terrain) .

مثال رقم 10-5-

إذا كانت زوايا المستطيلات الصغيرة في الشكل (10-15)، كما يلي :

رقم النقطة Point No.	إرتفاع النقطة فوق المستوى المرجعي Height above Datum (m)
a	106.68
b	107.17
c	106.97
d	107.06
e	107.50
f	107.76
g	107.96
h	108.01
i	108.68

فكم يكون حجم الحفريات اللازم الوصول إلى منسوب ثابت مقداره 104.00m على كامل مساحة المستطيل الكبير acgi ، إذا علمت أن أبعاد المستطيلات الجزئية الصغيرة متساوية وتساوي 20m × 25 ؟

الحل :

دعنا أولاً نصب عمق الحفر اللازم عند كل من زوايا المستطيلات الصغيرة وذلك بطرح قيمة المنسوب المطلوب (104.00) من منسوب كل من هذه الزوايا ، أي :

رقم النقطة Point No.	منسوب النقطة Height above Datum (m) 1	المنسوب المطلوب Formation Level (m) 2	عمق الحفر المطلوب Depth of Cut (m) 1 - 2
a	106.68	104.00	2.68
b	107.17	104.00	3.17
c	106.97	104.00	2.97
d	107.06	104.00	3.06
e	107.50	104.00	3.50
f	107.76	104.00	3.76
g	107.96	104.00	3.96
h	108.01	104.00	4.01
i	108.08	104.00	4.08

إذا أخذنا المستطيلات الصغيرة كوحدة لحساب الحجم الكلي النهائي فيكون :

$$d1 \times d2$$

$$\text{Volume}_{\text{total}} = \frac{1}{4} [1 (H_a + H_c + H_g + H_i) + 2 (H_b + H_d + H_f + H_h) + 4 (H_e)]$$

$$\text{Volume}_{\text{total}} = \frac{25 \times 20}{4} [1 (2.68 + 2.97 + 3.96 + 4.08) + 2 (3.17 + 3.06 + 3.76 + 4.01) + 4 (3.50)] = 6961.25 \text{m}^3$$

وإذا أخذنا المثلثات ، شكل (10-15) ، كوحدة لحساب الحجم الكلي النهائي فيكون :

$$\text{Volume}_{\text{total}} = \frac{d_1 \times d_2}{6} [1 (H_a + H_i) + 2 (H_c + H_g) + 3 (H_b + H_d + H_d + H_f + H_h) + 6 (H_e)]$$

$$\begin{aligned} \text{Volume}_{\text{total}} &= \frac{25 \times 20}{6} [1 (2.68 + 4.08) + 2 (2.97 + 3.96) \\ &\quad + 3 (3.17 + 3.06 + 3.76 + 4.01) + 6 (3.50)] \\ &= 6968.33\text{m}^3 \end{aligned}$$

مثال رقم 10-6-

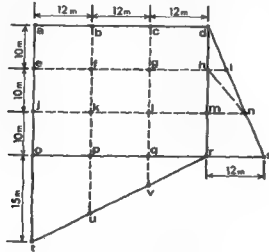
لحساب حجم الحفريات الصخرية المنجزة في مقلع حجري ، قيست مناسيب شبكة من النقاط قبل وبعد إجراء عملية الحفر . الشكل (10-16) يبين تباعدات نقاط الشبكة والجدول التالي يبين المناسيب المقاسة وعمق الحفر في كل نقطة . المطلوب حساب حجم هذه الحفريات إذا علمت أن المضلع adsrta يغطي سطح المقلع الحجري بكامله.

رقم النقطة Point No.	المنسوب قبل الحفر Elevation Before Excavation (m) 1	المنسوب بعد الحفر Elevation After Excavation (m) 2	عمق الحفر Depth of Cut (m) 1 - 2
a	102.75	91.66	11.09
b	102.51	91.60	10.91
c	102.56	91.59	10.97
d	102.71	91.63	11.08
e	102.12	91.70	10.42
f	102.01	91.64	10.37
g	102.10	91.65	10.45
h	101.93	91.76	10.17
i	101.83	91.76	10.07
j	101.70	91.85	9.85
k	101.70	91.79	9.84
l	101.58	91.72	9.86
m	101.51	91.66	9.85
n	101.43	91.62	9.81
o	101.27	91.71	9.56
p	101.19	91.76	9.43

q	101.08	91.85	9.23
r	100.93	91.89	9.04
s	100.86	91.95	8.91
t	100.69	92.03	8.66
u	100.54	92.15	8.39
v	100.21	92.24	7.97

الحل :

لنحسب أولاً حجم الحفريات ضمن المستطيل الكبير ador وهذا يتضح أنه مؤلف من تسعة مستطيلات صغيرة أبعاد كل واحد منها $12 \times 10\text{m}$ لنحسب حجم الحفريات ضمن كل مستطيل صغير ونجمعها ليمض مع ملاحظة أن النقاط r و o و d و a تشارك كل منها في مستطيل واحد فقط بينما النقاط z و h و e و c و b و q و p و m تشارك كل منها في مستطيلين متجاورين ، أما النقاط i و k و g و f فتشارك كل منها في أربعة مستطيلات متجاورة وعليه يكون مجموع الحفريات اللازمة ضمن المستطيل الكبير ador مساوياً :



شكل -10-16-

$$\text{Volume}_{\text{ador}} = \frac{12 \times 10}{4} [1 (H_a + H_d + H_o + H_r) + 2 (H_b + H_c + H_e + H_h + H_g + H_n + H_p + H_q) + 4 (H_f + H_i + H_k + H_l)]$$

$$\text{Volume}_{\text{ador}} = \frac{12 \times 10}{4} [1 (11.09 + 11.08 + 9.56 + 9.04) + 2 (10.91 + 10.97 + 10.42 + 10.17 + 9.85 + 9.85 + 9.43 + 9.23) + 4 (10.37 + 10.45 + 9.84 + 9.86)]$$

$$\text{Volume}_{\text{ador}} = 10935.3\text{m}^3$$

لحساب حجم الحفر ضمن المثلث الكبير drs ، نلاحظ أنه مكون من مثلث صغير dhi ومن شبهي منحرفين mnrs و himn لذلك نصب الحجم المحصور ضمن كل من هذه الأشكال الجزئية ونجمعها لبعض ، أي :

$$\text{Volume}_{\text{drs}} = \frac{10 \times 4}{2 \times 3} (H_d + H_b + H_i) + \frac{10 (4+8)}{2 \times 4} (H_b + H_i + H_m + H_n) + \frac{10 (8+2)}{2 \times 4} (H_m + H_n + H_r + H_s)$$

لاحظ أن مساحة المثلث dhi تساوي $\frac{10 \times 4}{2}$ وأن مساحة شبه المنحرف himn تساوي $(\frac{4+8}{2}) \times 10$ ومساحة شبه المنحرف mnrs تساوي $(\frac{8+12}{2}) \times 10$ وأن معدل عمق الحفر لكل شبه منحرف أخذ مساوياً للمتوسط الحسابي لأعماق الحفر عند زواياه الأربع .

$$\text{Volume}_{\text{drs}} = \frac{10 \times 4}{2 \times 3} (11.08 + 10.17 + 10.07) + 10 \frac{4+8}{2 \times 4} (10.17 + 10.07 + 9.58 + 9.81) + \frac{10 (8+12)}{2 \times 4} (9.85 + 9.81 + 9.04 + 8.91) = 1747.55\text{m}^3$$

لحساب حجم الحفر ضمن المثلث الكبير ort ، نلاحظ أنه مكون من مثلث صغير qrv ومن شبهي منحرفين optu و pquv . لذلك نصب الحجم المحصور ضمن كل من هذه الأشكال الجزئية ونجمعها لبعض ، أي :

$$\text{Volume}_{\text{ort}} = \frac{5 \times 12}{2 \times 3} (H_q + H_r + H_v) + \frac{12 (5+10)}{2 \times 4} (H_p + H_q + H_u + H_v) \\ + \frac{12 (10 + 15)}{2 \times 4} (H_o + H_p + H_t + H_u)$$

لاحظ أن مساحة المثلث qrv تساوي $\frac{5 \times 12}{2}$ ومساحة شبه المنحرف pquv

تساوي $\frac{12 (5 + 10)}{2}$ ومساحة شبه المنحرف optu $\frac{12 (10 + 15)}{2}$ ولن معدل
عمق الحفر لكل شبه منحرف يساوي المتوسط الحسابي لأعماق الحفر عند زواياه الأربع.

$$\text{Volume}_{\text{ort}} = \frac{5 \times 12}{2 \times 3} (9.23 + 9.04 + 7.97) + \frac{12 (5 + 10)}{2 \times 4} (9.43 + \\ 9.23 + 8.39 + 7.97) + \frac{12 (10 + 15)}{2 \times 4} (9.56 + \\ 9.43 + 8.66 + 8.39)$$

$$\text{Volume}_{\text{ort}} = 2401.85 \text{m}^3$$

وبهذا يكون حجم الحفر الكلي مساوياً :

$$\text{Volume}_{\text{total}} = \text{Volume}_{\text{ador}} + \text{Volume}_{\text{drs}} + \text{Volume}_{\text{ort}}$$

$$\text{Volume}_{\text{total}} = 10935.3 + 1747.55 + 2401.85 = 15084.7 \text{m}^3$$

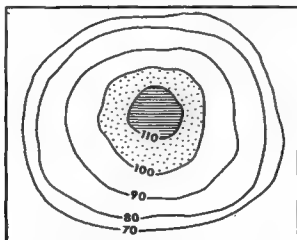
ملحوظة :

يلاحظ في الحل أننا حسبنا معدل الحفر ضمن كل شبه منحرف على أساس المتوسط الحسابي لأعماق الحفر عند زواياه الأربع ويجب التنويه هنا بأن هذا العمل مقبول فقط عندما يكون سطح الأرض قليل الوعورة (ذو ميل شبه منتظم) أما إذا كانت الأرض وعرة فيفضل ، زيادة في الدقة ، تقسيم شبه المنحرف إلى مثلثين وحساب حجم الحفر ضمن كل مثلث وجمع

الحجمين (على سبيل المثال ، بدلاً من حساب الحجم ضمن شبه المنحرف himn كوحدة واحدة يمكن تقسيمه إلى مثلثين ثم جمعهم لبعض) . عادة ، يقوم المساح في الميدان برسم القطر hn إذا ما رأى ضرورة لتقسيم شبه المنحرف إلى مثلثين عند حساب الحجم بالنظر لمعرفة الأكدية بطبيعة الأرض في موقع القياس.

3-2-10 حساب الحجم من خطوط الكنتور (Volumes from Contours)

هذه الطريقة مناسبة عند توفر المخططات أو الخرائط الكنتورية حيث يجري تطبيق طريقة المقطع الوسطي أو طريقة قانون الموشور في حساب الحجم وذلك باستبدال المساحات المحصورة ضمن حدود خطوط الكنتور المتتالية بمساحات المقاطع العرضية المتتالية في تلك الطريقتين واستبدال الفترة الكنتورية بالمسافة بين كل مقطعين عرضيين متتاليين . بخصوص الفترة الكنتورية فهي عبارة عن الفرق بين منسوبي أي خطين كنتوريين متتاليين على المخطط أو الخريطة المستخدمة لهذا الغرض ، أما المساحة المحصورة ضمن حدود كل خط كنتور فتقاس بواسطة جهاز البلاثيمتر (الجهاز المناسب لمثل هذه الحالات) . لتكن لدينا على سبيل المثال مجموعة خطوط الكنتور التالية والتي تمثل تلة ، شكل (10-17) ، إن المساحة المحصورة ضمن حدود خط الكنتور 110 يمثلها الجزء المهدش (Hatched) في الشكل (10-17) ، والمساحة المحصورة ضمن حدود خط الكنتور 100 عبارة عن مجموع الجزئين المهدش والمنقط (أي أن المساحة الخاصة بخط الكنتور 100 تشمل المساحة بخط الكنتور 110 وكذا المساحة التي تخص خط الكنتور 90 تشمل المساحة الخاصة بخط الكنتور 100 وهكذا) .



شكل -10-17- تلة تمثلها مجموعة من خطوط الكنتور [55م]

لما الفترة الكتورية فهي كما هو واضح من الشكل تساوي 10m . الآن بفترض ان مساحة المنطقة ضمن حدود خط الكتور 110 تساوي A₁₁₀ ومساحة المنطقة ضمن حدود خط الكتور 90 تساوي A₉₀ ومساحة المنطقة ضمن حدود خط الكتور 80 تساوي A₈₀ ومساحة منطقة ضمن حدود خط الكتور 70 تساوي A₇₀ ولريد قطع او تسوية التلة حتى المنسوب 70m فيكون حجم الحفر اللازم لذلك بتطبيق طريق المقطع الوسطي مساوياً :

$$\text{Volume} = 10 \left(\frac{A_{110} + A_{100}}{2} \right) + 10 \left(\frac{A_{100} + A_{90}}{2} \right) \\ + 10 \left(\frac{A_{90} + A_{80}}{2} \right) + 10 \left(\frac{A_{80} + A_{70}}{2} \right)$$

$$\text{Volume} = \frac{10}{2} [A_{110} + A_{70} + 2 (A_{100} + A_{90} + A_{80})]$$

ويكون الحجم بتطبيق طريقة قانون الموشور مساوياً :

$$\text{Volume} = \frac{10}{3} [A_{110} + A_{70} + 4 (A_{100} + A_{80}) + 2 (A_{90})]$$

حيث الرقم 10 يمثل الفترة الكتورية .

ملحوظة :

يندر تطبيق طريقة قانون الموشور في حساب الحجم من خطوط الكتور بل يقتصر على طريقة المقطع الوسطي حيث تتسجم دقتها مع دقة الخطوط الكتورية .

مثال رقم 7-10-

في الشكل (10-17) ، قيست المساحة المحصورة ضمن حدود كل خط كتور بواسطة جهاز البلاتيمتر وكانت كما يلي : $A_{110} = 10100 \text{ m}^2$ و $A_{100} = 24721 \text{ m}^2$ و $A_{80} = 91206 \text{ m}^2$ و $A_{70} = 116375 \text{ m}^2$ و $A_{90} = 66384 \text{ m}^2$.

فيذا أريد تسوية التلة (جفرها) للوصول إلى المنسوب 70m فكم يكون حجم الحفر اللازم
علماً بأن الفترة الكتتورية تساوي 10m ؟

ملحوظة :

إحسب الحجم بطريقتي المقطع المتوسط وكثاين الموشور .

الحل :

أ . بطريقة المقطع الوسطي

$$\text{Volume} = \frac{10}{2} [A_{110} + A_{70} + 2 (A_{100} + A_{90} + A_{80})]$$

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= \frac{10}{2} [10100 + 116375 + 2 (24721 + 66384 + 91206)] \\ &= 2455485\text{m}^3 \end{aligned}$$

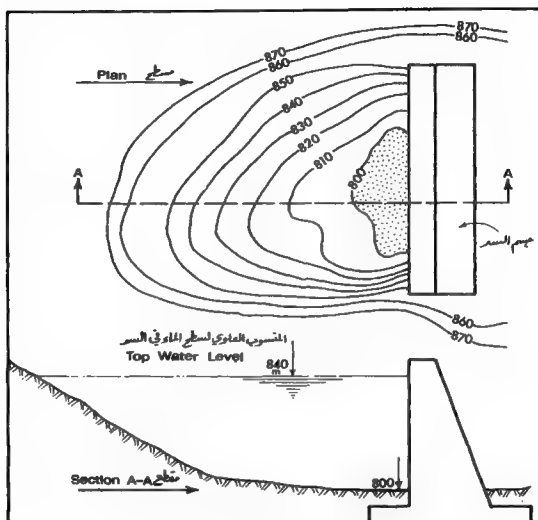
ب. بطريقة قانون الموشور

$$\text{Volume} = \frac{10}{2} [A_{110} + A_{70} + 4 (A_{100} + A_{80}) + 2 (A_{90})]$$

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= \frac{10}{2} [10100 + 116375 + 4 (24721 + 91206) + 2 (66394)] \\ \text{Volume} &= 2409837\text{m}^3 \end{aligned}$$

مثال رقم 10-8-

في الشكل (10-18)، خطوط الكتتور تمثل طبقة سطح الأرض لحوض مائي يقع مباشرة
خلف جسم سد مقترح قيمت المساحة المحصورة ضمن كل خط كتتور بواسطة بلانيمتر
قلمبي (الجزء المنقط في الشكل (10-18) على سبيل المثال ، يمثل المساحة التي تخص



شكل 10-18 - [22م]

خط الكنتور 800m وبالتالي نجعل إبرة للتخطيط لجهاز البلاتيمتر تمر على محيط هذا الجزء .
بكامله (فوجدت كما يلي :

رقم خط الكنتور المنسوب (m)	800	810	820	830	840	850
مقدار المساحة المقيسة (m ²)	20365	41375	117120	160340	211210	298140

المطلوب حساب حجم الماء المحجوز خلف جسم السد عندما يصل منسوب الماء إلى الحد الأعظمي المسموح وهو 840m وذلك بطريقة المقطع الوسطي وقانون الموشور علماً بأن أرضية (قعر) الحوض المائي خلف جسم السد منبسطة ومنسوبها يساوي 800m تقريباً .

الحل :

أ . الحل بطريقة المقطع الوسطي

بملاحظة خطوط الكنتور يتبين أن الفترة الكنتورية تساوي 10m ، وعليه فإن :

$$\text{Volume} = \frac{10}{2} [A_{800} + A_{840} + 2 (A_{810} + A_{820} + A_{830})]$$

حيث A_{800} ترمز إلى المساحة ضمن حدود خط الكنتور 800m
وهكذا

$$\text{Volume} = \frac{10}{2} [20365 + 211210 + 2 (41375 + 117120 + 160340)]$$

$$\text{Volume} = 4346225\text{m}^3$$

ب . بطريقة قانون الموشور :

$$\text{Volume} = \frac{10}{2} [A_{800} + A_{840} + 4 (A_{810} + A_{830}) + 2 (A_{820})]$$

$$\text{Volume} = 4242250\text{m}^3$$

مسائل

- 10 - 1 اذكر أهم الطرق الشائعة في حساب المحجم وتلخص بينها .
- 10 - 2 هل تفضل طريقة للقطع الوسطى في حساب المحجم على طريقة قانون للوشور أم العكس ؟ ولماذا ؟
- 10 - 3 في أي الحالات تصح باستخدام طريقة للقطع الوسطى وفي أي الحالات تنصح باستخدام طريقة قانون للوشور في حساب المحجم ؟
- 10 - 4 متى يصبح الفرق بين استخدام طريقة للقطع الوسطى واستخدام طريقة قانون للوشور مهملاً ؟
- 10 - 5 أي العاملين التاليين أكثر تأثيراً في تحقيق الدقة في حساب المحجم :
 أ - طريقة رياضية أكثر دقة في حساب المحجم .
 ب - تقريب للمسافات بين المقاطع العرضية .
- 10 - 6 ما هي العوامل التي تؤثر في تحقيق الدقة في حساب المحجم ؟ وما أكثر العوامل هذه تأثيراً ؟
- 10 - 7 لديك ثلاثة مقاطع عرضية متتالية من طريق ، للقطع الأول كله ردم ومساحته (15.81 m^2) ، للقطع العرضي الثاني عتلط مساحة الردم فيه (7.23 m^2) ومساحة الحفر فيه (5.46 m^2) ولقطع العرضي الثالث حفر ومساحته (12.34 m^2) . للطلوب حساب كميات الحفر والردم التراكمية بين المقطعين الأول والثالث علماً بأن التباعد بين كل مقطعين عرضيين متتاليين يساوي (25 m) .
- 10 - 8 لديك الجدول التالي الذي بين مساحات وتباعدات خمسة مقاطع عرضية متتالية من طريق، للطلوب حساب كمية الحفر اللازمة بين المقطع العرضي

الأول وللقطع العرضي الخامس باستخدام طريقتي اللقطع الوسطي وقانون
للمشور.

رقم للقطع	1	2	3	4	5
المحطة (m)	00.00	20	40	60	75
مساحة الحفر (m ²)	7.25	6.13	8.22	7.35	9.85

9 - 10 نفس معطيات المسألة رقم (8-10) ولكن المطلوب هنا تطبيق طريقة قانون
للمشور وبيان الفرق بين التيجتين والتعليق على ذلك .

10-10 في أي الأوضاع الطبوغرافية تكثر للقاطع العرضية المختلطة وماذا يترتب على
ذلك عند حساب الحجم في مثل هذه الأجزاء أو للواقع من الطريق .

11-10 في أي الحالات ينصح بإتباع طريقة مناسب النقاط في حساب الحجم ؟

12-10 عند حساب الحجم بإتباع طريقة مناسب النقاط ، هل تفضل تقسيم الموقع
إلى مثلثات أم إلى مستطيلات ؟ لماذا ؟ ومتى يصبح الفرق مهماً ومتى يصبح
هذا الفرق معتبراً ؟

13-10 الجلول التالي يبين للمساحة المحصورة ضمن حدود مجموعة من خطوط كتورية
متتالية ، المطلوب حساب حجم الحفر اللازم للوصول إلى النموب (200m) .

منسوب خط الكنتور (m)	المساحة ضمن حدود خط الكنتور (m ²)
220	11070
215	30200
210	41150
205	53120
200	63270

14-10 في المثال رقم (8-10) ، كما يصبح حجم الماء خلف السد عندما يعلو مسطح الماء بمقدار (1m) عن الحد الأعظمي للسماح به ؟ استخدم طريقة للقطع الوسطي في الحل .

-11-

الفصل الحادي عشر
-المنحنيات الأفقية-

HORIZONTAL CURVES

شرحنا في الفصل الثالث (انظر بشكل خاص الفقرات من 3 - 4 - 1 إلى نهاية 3 - 4 - 5) طرق اختيار وتحديد نقاط تقاطع أزواج الخطوط المستقيمة للتأليف للشكل لمسار طريق مقترح معين. كذلك أوضحنا أنه يتبع ذلك قياس زوايا التقاطع (فقرة 3 - 4 - 2). إن ربط هذه الأزواج للتقاطعة من الخطوط المستقيمة بمنحنيات أفقية يمكن من الانعطاف، الآمن والرن وللريح والاقتصادي ما أمكن ، من اتجاه آخر هو موضوع هذا الفصل (انظر الشكلين 3 - 20 ، 3 - 21) . إن اختيار العناصر التصميمية الأساسية (نصف القطر أو درجة المنحنى على سبيل المثال) لمنحنيات الربط أو الوصل الأفقية هي من صميم اختصاص مهندسي الطرق ذلك لأنها تتبع معايير تصميمية تدخل في صلب هندسة الطرق . أما مهمة مهندسي المساحة والمساحين في هذا المجال فهي في الحقيقة حيوية ورئيسة وتتلخص في الاستناد إلى هذه المعطيات التصميمية الأساسية لاشتقاق كافة المعلومات التي تلزم عملية التحديد الميداني لمنحنيات الربط . من الطبيعي أن تتم عملية التحديد هذه أيضاً على أيدي فرق المساحة المتخصصة .

سنستعرض في هذا الفصل أنواع المنحنيات الأفقية التي يمكن استخدامها في وصل الخطوط المستقيمة ، العناصر التصميمية والاشتقاقات وقيمة المعلومات اللازمة لعملية النقل من الوضع التصميمي النظري إلى أرض الواقع (التحديد على الطبيعة)، إضافة إلى بعض التطبيقات والقضايا الهامة ذات العلاقة .

11 - 2 أنواع المنحنيات :

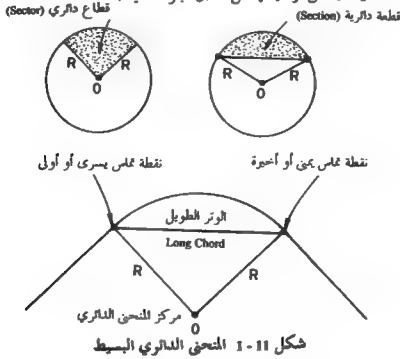
سنشرح في هذا الفصل نوعين من المنحنيات التي يمكن استخدامها في وصل الخطوط المستقيمة للتقاطعة ، هي :

- المنحنيات الدائرية (Circular Curves) .
- المنحنيات للندرجة أو الحلزونية (Easement or Spiral Curves) .

1-2-11 المنحنيات الدائرية :

1-1-2-11 المنحنى الدائري البسيط (Simple Circular Curve) :

هذا للنحنى عبارة عن جزء من دائرة ذات نصف قطر محدد وثابت، شكل (1-11). وفيما يتعلق بالحسابات والطرق الخاصة بتصميم وتحميد (على الطبيعة) هذا النوع من المنحنيات الدائرية فيمكن توضيحها من خلال البنود التالية :



أ - عناصر المنحنى الدائري البسيط

- ملاحظات الشكل (2-11) تبين العناصر الرئيسة التالية للمنحنى الدائري البسيط .
- نقطة تقاطع المماسين أو المستقيمين وتسمى الذروة أو رأس للنحنى (Vertex or Point of Intersection , PI)
- زاوية الانحراف Deflection Angle ويرمز لها بـ Δ ويمكن البرهان بسهولة على أنها تساوي الزاوية المركزية المنشأ عليها المنحنى الدائري بكامله .
- المماسان The Two Tangents ويرمز لكل منهما بـ T وقد تم الاصطلاح على تسمية التماس على الجانب الأيسر لنقطة التقاطع (PI) بالتماس الخلفي Back Tangent

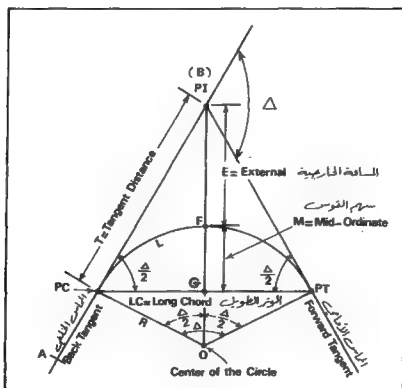
والمماس على الجانب الأيمن لنقطة التقاطع بالمماس الأمامي Forward Tangent وذلك

إذا كان تقدم العمل المساحي باتجاه اليمين والعكس صحيح .

* نقطة بداية المنحنى Point of Curvature ويرمز لها بـ PC وتسمى أيضاً بنقطة التماس

الأولى أو مدخل المنحنى وفي أحيان أخرى يرمز لها بـ BC أي Beginning of Curve

أو يرمز لها بـ TC أي : Tangent - to - Curve Point .



شكل 2-11 العناصر الأساسية للمنحنى الدائري البسيط

- * نقطة نهاية للنحن Point of Tangency ويرمز لها بـ PT وتسمى أيضاً بنقطة التماس الثانية أو عرج للنحن وفي أحيان أخرى يرمز لها بـ EC أي : End of Curve أو يرمز لها بـ CT أي : Curve-to-Tangent Point .
- * الخط للمستقيم الذي يصل بين نقطتي التماس ويطلق عليه الوتر الطويل Long Chord ويرمز له بـ LC .
- * نصف القطر Radius ويرمز له بـ R .
- * طول للنحن Length of Curve ويرمز له بـ L .
- * المسافة الخارجية External Distance ويرمز له بـ E وهي عبارة عن المسافة بين نقطة التقاطع PI ونقطة منتصف النحن الدائري مقيسة وفق الخط الواصل بين مركز النحن O ونقطة التقاطع PI (هذا الخط بالطبع ينصف الزاوية المركزية للمنحنى والمساوية له) .
- * سهم القوس Middle Ordinate ويرمز له بـ M وهو يساوي المسافة بين نقطة منتصف النحن وبين نقطة منتصف الوتر الطويل (طول العمود النازل من منتصف المنحنى إلى الوتر الطويل).
- * مركز للنحن Curve Center وسنرمز له بـ O .
- * الوتر الجزئي الأول First Partial Chord ويرمز له بـ C_1 ، الشكل (11-3) ، وهو طول الخط للمستقيم الذي يصل نقطة التماس الأولى بأول نقطة على المنحنى ونذكر هنا أنه نادراً ما تكون محطة نقطة التماس الأولى مطابقة مع رقم متور ومناسب عملياً (المحطة هي مقدار للمسافة الأفقية للمقطوعة وفق خط منتصف الطريق Centerline ومن بدايته حتى النقطة ذات العلاقة ، فلو قلنا مثلاً أن محطة النقطة PC هي 1217m فيعني هذا أن المسافة الأفقية من بداية الطريق أو للمشروع مقاسة وفق خط منتصف الطريق وحتى هذه النقطة تساوي 1217m) كأن تكون هذه المحطة قابلة للقسمة على 20 أو 25 وهي الأطوال الدارجة لأغلبية الأشرطة المستعملة في قياس للمسافات لذا فإنه يلجأ إلى إعطاء طول للوتر الجزئي الأول بحيث تصبح محطة النقطة الأولى من المنحنى رقماً مدوراً مناسباً (يقبل القسمة على 20 أو 25) .

* الوتر الجزئي الأوسط Middle Partial Chord ويرمز له بـ C وهو عبارة عن طول الخط للمستقيم الذي يصل بين أي نقطتين متتاليتين من للمنحنى ما عدا الأولى والأخيرة (تقصّد بالنقطة الأولى من للمنحنى تلك التي تلي مباشرة نقطة التماس الأولى ونعني بالنقطة الأخيرة تلك التي تسبق مباشرة نقطة التماس الثانية) وعادة يكون هذا الطول رقماً مدوراً مناسباً وغالباً يكون 10 m or 20m or 25m بحيث تبقى محطات جميع النقاط الوسطى من للمنحنى أرقاماً مدورة مناسبة ، الشكل (3-11) .

* الوتر الجزئي النهائي Last Partial Chord ويرمز له بـ C_2 وهو عبارة عن طول الخط للمستقيم الذي يصل نقطة التماس الثانية بالنقطة التي تسبقها مباشرة وبالطبع يكون هذا الطول بحيث يكمل على طول للمنحنى الكلي المحسوب ، الشكل (3-11) .

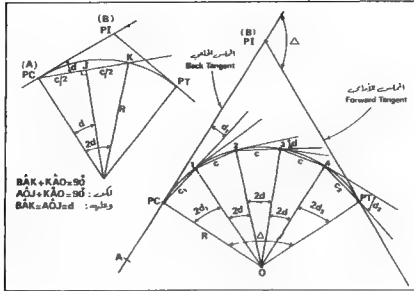
* زاوية الانحراف الجزئية الأولى ونرمز لها بـ d_1 وهي عبارة عن الزاوية الأفقية المحصورة بين للتماس الأول أو الخلفي وبين الوتر الجزئي الأول وهذه الزاوية بالطبع تساوي نصف الزاوية المركزية المنشأة على الوتر أو القوس الجزئي الأول، الشكل (3-11).

* زاوية الانحراف الجزئية الوسطى ونرمز لها بـ d وهي عبارة عن الزاوية الأفقية المحصورة بين أي وتر جزئي أوسط وبين مماس للمنحنى الدائري في نقطة بداية هذا الوتر الجزئي الأوسط الشكل (3-11) .

* زاوية الانحراف الجزئية النهائية ونرمز لها بـ d_2 وهي عبارة عن الزاوية الأفقية المحصورة بين الوتر الجزئي النهائي وبين للمماس للمنحنى الدائري في نقطة نهاية هذا الوتر الجزئي النهائي (أي للمماس للمنحنى في النقطة التي تسبق مباشرة نقطة التماس الثانية)، الشكل (3-11) .

ملحوظة :

سنصطلح على إعطاء الأطوال الجزئية نفس رموز الأوتار الجزئية التي تقابلها كما أننا سنفترض تساوي القوس الجزئي مع الوتر الجزئي في حالة تقسيم للمنحنى الدائري الكلي إلى عدة أقوس جزئية بحيث لا يتجاوز طول القوس الجزئي الواحد (R/20) .

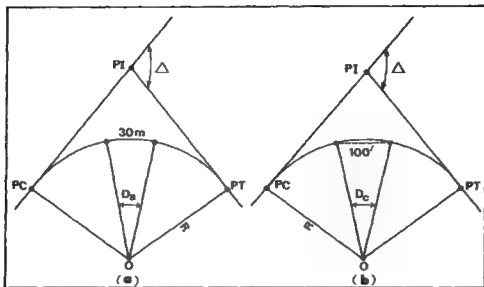


شكل 11-3 الأوتار وزوايا الانحراف الجزئية

ب - نصف القطر ودرجة الانحناء Radius and Degree of Curvature :

هناك اعتباران لتحديد أو تعريف للمنحنى الدائري البسيط، الاعتبار الأول يقضي معرفة درجة الانحناء أو التقوس والاعتبار الثاني يقضي معرفة نصف قطر المنحنى .

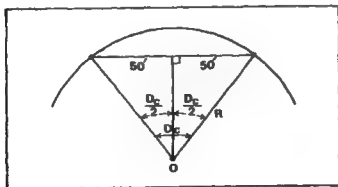
تعرف درجة الانحناء بمقدار الزاوية المركزية للمقابلة أو للنشأة على وتر أو قوس ذي طول محدد أو مصطلح عليه ، الشكل (11 - 4) ، إن هذا الطول قد يختلف من بلد لآخر ففي معظم البلدان التي تطبق النظام البريطاني تعرف درجة المنحنى بمقدار الزاوية المركزية التي تقابل وتر طوله 100 ft وفي مصر تعرف درجة المنحنى بمقدار الزاوية المركزية التي تقابل وتر طوله 20 m وفي وزارة الأشغال العامة الأردنية تعرف درجة المنحنى بمقدار الزاوية المركزية التي تقابل قوساً طوله 30 m . فعلى سبيل المثال يكون للمنحنى الدائري الذي درجته 3° حسب النظام البريطاني هو ذلك للمنحنى الذي تكون فيه الزاوية المركزية للمقابلة لوتر طوله 100 ft مساوية لـ 3° وحسب نظام وزارة الأشغال العامة الأردنية هو الذي تكون فيه الزاوية المركزية للمقابلة لقوس طوله 30 m مساوية 3° .



شكل 4-11 تعريف درجة الانحناء

جـ - علاقة نصف القطر بدرجة المنحنى :

* في حالة التعريف الوزني لدرجة المنحناء للمنحنى (Chord Definition) ، يمكن كتابة العلاقات الرياضية التالية ، شكل (5 - 11) .



شكل 5 - 11 علاقة نصف القطر بدرجة الانحناء

$$\sin(D_c/2) = (50' / R)$$

$$R = 50' / \sin(D_c/2) \dots\dots\dots (1-11)$$

وعليه يكون طول النحنى L (بشكل تقريبي) :

$$L = 100' (\Delta / D_c) \dots\dots\dots (2-11)$$

لأننا إذا كان طول القوتر (وفق التعريف القوسي) مساوياً (30 m) بدلاً من (100') ،

عندها تصبح للمعادلة (1-11) على الشكل :

$$R = 15' / \sin(D_c/2) \dots\dots\dots (3-11)$$

° وفي حالة التعريف القوسي للدرجة انحناء النحنى (Arc Definition) ، يمكن كتابة

العلاقات الرياضية التالية (شكل 6-11) .

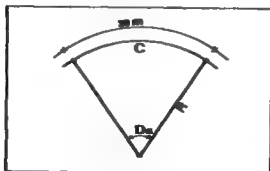
$$30 \text{ m} / 2\pi R = D_s / 360^\circ$$

وعليه ، يكون نصف القطر (R) مساوياً :

$$R = 1718.873 / D_s \dots\dots\dots (4-11)$$

وطول النحنى (L) مساوياً :

$$L = 30 \text{ m} (\Delta / D_s) \dots\dots\dots (5-11)$$



شكل 6-11

لأننا إذا كان طول القوس (وفق التعريف القوسي) مساوياً (100') بدلاً من (30m) ،

عندها تصبح للمعادلة (4-11) على الشكل :

$$R = 5729.578 / D_s \dots\dots\dots (6-11)$$

لأننا للمعادلة (5-11) تصبح على الشكل :

$$L = 100' (\Delta / D_s) \dots\dots\dots (7-11)$$

ملحوظات على التعريفين القوسي والوترى للدرجة انحناء المنحنى الدائري :

- * يقلب استخدام التعريف القوسي في تطبيقات الطرق بينما يقلب استخدام التعريف الوترى في تطبيقات السكك الحديدية .
- * تنصف للمنحنيات الدائرية السهلة (Flat or Long Radius Curves) بدرجات انحناء صغيرة بينما يكون للمنحنيات الدائرية الحادة (Sharp or short Radius Curves) درجات انحناء كبيرة. في حالات الطرق السريعة الحديثة (Modern High- Speed Highways)، تكون درجة الانحناء عادة أقل من أربع درجات .
- * يطلق على المنحنى الدائري ذي درجة الانحناء 1° منحنى درجة واحدة (one- Degree Curve) وعلى المنحنى الدائري ذي درجة الانحناء 2° منحنى درجتين (Two- Degree Curve) وهكذا .
- * في مشاريع الطرق والسكك الحديدية يقلب تعريف للمنحنيات الدائرية البسيطة بدلالة قيمة للدورة (Even Value) للدرجة المنحني إما وفق التعريف القوسي (D_e) أو وفق التعريف الوترى (D_w) غير أنه في بعض التطبيقات ، الأخرى كشوارع المدن وخطوط الأنابيب، يجري عادة تعريف هذه المنحنيات باختيار بعض القيم للدورة لأنصاف الأقطار ويطلق عليها "Even - Radius Curve" .

د - معادلات المنحنيات الدائرية (Equations for Circular Curves) [م 33] [52م]

لنتذكر الحقائق التالية : (هندسة مستوية) :

- * إذا رسم من نقطة مماسان لقوس دائري كان هذان المماسان متساويين .
- * للمماس للمنحنى الدائري في نقطة ما يعامد نصف قطر هذا المنحنى للمماس بنقطة التماس . بالاعتماد على الحقائق السابقة وبلاستعانة ، بالشكل (2-11) يمكن البرهان على أن للثلثين (PI, PT, O) و (PI, PC, O) متطابقان لتساوي ثلاثة أضلاع وبالتالي فإن الضلع المشترك لهما PI, O بنصف زاوية الرأس للمركز (O) ، أي أن الزاويتين (PC, O, G) و (PT, O, G) متساويتان وتساوي كل منهما $\Delta/2$. وبذلك يمكن البرهان أيضاً على أن للثلثين (G, PT, O) و (G, PC, O) متطابقان وذلك لتساوي ضلعين وزاوية وعليه فإن الضلع المشترك لهما GO بنصف الوتر PT و PC في النقطة G (أي أن: $PC, G = PT, G$) ويعامده

ن) النقطة G (أي أن : $\angle PT, G, O = \angle PC, G, O = 90^\circ$). وبالتالي فإنه بمعرفة نصف قطر المنحنى الدائري R المراد تصميمه وتحديد موقعه في الطبيعة (أن اختيار نصف القطر يعتمد على مزايا اقتصادية وفنية وطوبوغرافية وبالتالي يترك هذا الأمر للمهندس أو بالأحرى للفريق المصمم) ومعرفة زوايا انحراف المماسين Δ يمكننا كتابة العلاقات الرياضية التالية :

1 - طول للمماس (T) :

$$T = R \tan (\Delta/2) \dots\dots\dots (8-11)$$

2 - المسافة الخارجية (E) :

$$E = (R / \cos (\Delta/2)) - R$$

$$E = R (\sec (\Delta/2) - 1)$$

$$E = R \operatorname{exsec} (\Delta/2) \dots\dots\dots (9-11)$$

3 - سهم القوس (M) :

$$M = R - R \cos (\Delta/2)$$

$$M = R (1 - \cos (\Delta/2))$$

$$M = R \operatorname{vers} (\Delta/2) \dots\dots\dots (10-11)$$

4 - الوتر الطويل (LC) :

$$LC = 2R \sin (\Delta/2) \dots\dots\dots (11-11)$$

5 - طول للمنحنى (L) :

$$L / (2 \pi R) \Delta / 360$$

$$L = \pi R \Delta / 360 \dots\dots\dots (12-11)$$

6 - زوايا الانحراف وأطوال الأوتار والأقواس الجزئية :

بالنسبة لأطوال الأوتار الجزئية (C_1, C, C_2) وقيم زوايا الانحراف الجزئية

(d_1, d, d_2) فيمكن اشتقاقها على النحو التالي، الشكل (3- 11) :

* قيم زوايا الانحراف الجزئية (C_m) :

لحساب قيم زوايا الانحراف الجزئية لأي منحنى دائري، يمكننا كتابة العلاقة

الرياضية التالية :

$$\frac{\text{طول القوس الجزئي الدائري}}{\text{طول محيط الدائرة للمرة هذا القوس}} - \frac{\text{الزاوية المركزية الخاصة بالقوس الجزئي}}{\text{الزاوية المركزية الكلية (أي 360°)}}$$

وحيث أن الزاوية المركزية الخاصة بقوس ما تساوي ضعف زاوية الانحراف الجزئية (الزاوية للماسة) لهذا القوس كما سبق أن أشرنا، فإننا نكتب للمعادلة التالية أيضاً :

$$\frac{\text{طول القوس الجزئي}}{\text{طول محيط الدائرة}} = \frac{\text{(زاوية الانحراف الجزئية الخاصة بالقوس الجزئي)} \times 2}{\text{الزاوية المركزية الكلية (أي } 360^\circ)}$$

وعليه نكتب العلاقات التالية بالنسبة لمعطى الأقوس الجزئية .

(ملاحظة أننا سنرمز إلى الأقوس الجزئية بنفس رموز الأوتار الجزئية التي تقابلها)

$$C_1 / (2\pi R) = 2d_1 / 360^\circ$$

$$d_1 = 90 C_1 / (\pi R)$$

حيث d_1 معطاة بالدرجات ، وبالنظر لكون زوايا الانحراف الجزئية عملياً صغيرة لنا يفضل إعطاؤها بال دقائق ، أي :

$$d_1 = \frac{60 \times 90 C_1}{\pi R}$$

وعليه تكون زاوية الانحراف الجزئية الأولى بال دقائق :

$$d = 1718.873 \left(\frac{C_1}{R} \right)$$

وبنفس الأسلوب يمكن كتابة :

- قيمة كل زاوية من زوايا الانحراف الجزئية الوسطى بال دقائق :

$$d = 1718.873 \left(\frac{C}{R} \right)$$

- زاوية الانحراف الجزئية الأخيرة بال دقائق :

$$d_2 = 1718.873 \left(\frac{C_2}{R} \right)$$

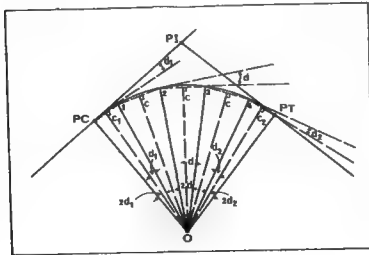
ونكتب عادة للمعادلات الثلاث السابقة بشكل عام على النحو التالي :

$$d_n = 1718.873 \left(\frac{C_n}{R} \right) \dots\dots\dots (13-11)$$

حيث ترمز d_0 إلى زاوية الانحراف بالدقائق ، C_0 ترمز إلى طول القوس الدائري الجزئى
 ذي العلاقة ، و R ترمز بالطبع إلى نصف قطر المنحنى الدائري .

* أطوال الأوتار الجزئية (d_0) :

في الشكل (11-7) إذا أنزلنا عموداً من مركز المنحنى (O) على وتر القوس الجزئى
 الأول (C_1) فإن هذا العمود سينصف الزاوية PC, O, I وينصف هذا الوتر أيضاً .
 فإذا عرفنا الزاوية المركزية لقوس أو وتر بأنها الزاوية التي يمر أو يتقاطع ضلعاها
 (أنصاف أقطار) في مركز المنحنى (O) وعران أيضاً من طرفي هذا القوس أو الوتر،
 وإذا لاحظنا أن الزاوية للمماسية أو زاوية الانحراف الجزئية (الزاوية المحصورة بين الوتر
 الجزئي والمماس للمنحنى في نقطة بداية الوتر) تساوي نصف الزاوية المركزية لهذا الوتر
 [لاحظ أنه في الشكل (11-2) تكون الزاوية المحصورة بين المماس T والوتر
 الكلي LC تساوي نصف الزاوية المركزية الخاصة بالوتر الكلي حيث الأولى تساوي
 $\Delta/2$ (ملاحظة أن المثلث PC, PI, PT متساوي الساقين لتساوي للمماسين) بينهما
 الثانية تساوي Δ (لتساويها مع زاوية انحراف للمماسين) I ، لذا فإنه إذا رمزنا لزاوية



الشكل 11-7 أطوال الأوتار الجزئية

الانحراف الجزئية للنقطة الأولى من للنحن d_1 فإن الزاوية للركبية للمقابلة للوتر أو القوس الجزئي الأول تساوي ضعفها أي $2d_1$ ، وعليه نكتب :

$$\sin (d_1) = (C_{1/2}) / R$$

$$\sin (d) = (C/2) / R$$

$$\sin (d_2) = (C_2/2) / R$$

وبالتالي فإن طول الوتر الجزئي الأول (c_1) يساوي : $c_1 = 2 R \sin (d_1)$

وطول كل من الأوتار الجزئية الوسطى (c) يساوي : $c = 2 r \sin$

وطول الوتر الجزئي الأخير (c_2) يساوي : $c_2 = 2 R \sin (d_2)$

وفيما يلي الشكل العام للمعادلة التي تعطي طول الوتر بدلالة نصف القطر وزاوية الانحراف :

$$c_o = 2 R \sin (d_o) \dots \dots \dots (14 - 11)$$

حيث ترمز c_o إلى طول الوتر ذي العلاقة .

وترمز d_o إلى زاوية الانحراف للمقابلة للقوس ذي العلاقة .

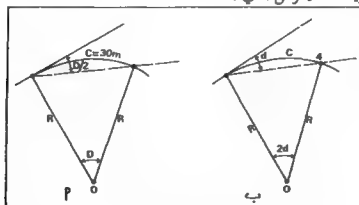
ملاحظات :

- عندما يكون نصف قطر للنحن الدائري كبيراً أو عندما يقسم هذا للنحن إلى أقسام بحيث لا يتجاوز طول القوس الجزئي الواحد مقدار $(R/20)$ فإن الفرق بين طولي الوتر الجزئي والقوس الجزئي مهمل وعليه يعتبران عملياً متساويين أما إذا ما أريد تحديد أطوال الأوتار الجزئية بدقة فإننا نبدأ أولاً بتقسيم للنحن الدائري الكلي إلى عدة أقسام (أقوس جزئية) بحيث لا يتجاوز طول القوس الواحد مقدار $(R/20)$ وبحيث تكون محطات مختلف نقاط للنحن (ما بين نقطتي التماس الأولى والثانية) أرقاماً مدورة ومناسبة (تقبل القسمة على 5 أو 10) كما سبق وأشرنا ثم نطبق للمعادلة الرياضية (11- 13) لاستنتاج زاوية الانحراف الجزئية التي تقابل أي قوس جزئي ضمن للنحن الدائري المراد تصميمه وتحديد موقعه بعد ذلك يجري حساب أطوال الأوتار الجزئية بدلالة نصف القطر وزوايا الانحراف الجزئية وذلك باستخدام العلاقة

الرياضية(11-14) . بعد معرفة زاوية التقاطع (أي زاوية انحراف للماسين) يمكن تحديد المنحنى الدائري بإعطاء قيمة لإحدى العناصر السبعة التالية : R, T, E, M, L, LC, D_s , or D_s :

• علاقة زوايا الانحراف بدرجة المنحنى ، وفق التعريف القوسي (30m) :

يمكننا تعيين زاوية الانحراف الجزئية الخاصة بنقطة ما من منحنى دائري بمعرفة درجة ذلك للمنحنى وطول القوس الجزئي الخاص بالنقطة. ففي الشكل (8-11 - أ) لدينا قوس دائري بطول 30m ، فإن زاويته المركزية متساوي درجة هذا القوس أو للمنحنى أي D وأما زاويته للمماسية أو زاوية الانحراف الجزئية له فتساوي $D/2$ (نصف الزاوية المركزية للنشأة على نفس القوس) ولو أن هناك قوساً آخر على نفس هذا المنحنى، شكل (8-11 - ب) طوله c فإن زاويته المركزية ($2d$) ستكون قطعاً مساوية للدرجة المنحنى نفسه (D) مضروبة بنسبة طول هذا القوس الجزئي (c) إلى طول القوس الذي يقابل زاوية مركزية تساوي درجة للمنحنى (أي 30m) حيث تتناسب أطوال الأقوس على منحنى دائري واحد بنفس النسب التي تتناسب فيها الزوايا المركزية لهذه الأقوس ، أي :



شكل 8-11

$$\begin{aligned} c/30 &= 2d/D \\ d &= (D)(c)/60 \end{aligned}$$

حيث: d بالدرجات

c بالأمتار

D بالدرجات

وحيث أن زوايا الانحراف تكون عادة صغيرة لذا يحذف إعطاؤها بالدقائق وبالتالي تصبح لدينا العلاقة الرياضية التالية :

$$d' = \frac{D^{\circ} \times 60}{60}$$

وعليه فإن زاوية الانحراف الجزئية (d_0) تعطى بدلالة درجة المنحنى D وطول القوس الجزئي c_0 على الشكل التالي :

$$d'_0 = D^{\circ}(c_0) \dots \dots \dots (15-11)$$

حيث d'_0 زاوية الانحراف الجزئية ، بالدقائق .

D° درجة للمنحنى بالدرجات .

c_0 طول القوس الجزئي ، بالمتر.

ملحوظة :

إذا كانت لدينا ثلاث مجموعات من الأقواس بأطوال متمايزة وبالأحرى إذا كان طول القوس الأول يختلف عن أطوال الأقواس الوسطى وكلاهما يختلفان عن القوس الأخير فإن العلاقة (15-11) تصبح :

$$d'_1 = D^{\circ}(c_1) \quad \text{بالنسبة للقوس الجزئي الأول}$$

$$d' = D^{\circ}(c) \quad \text{بالنسبة للأقواس الجزئية الوسطى}$$

$$d'_2 = D^{\circ}(c_2) \quad \text{بالنسبة للقوس الجزئي الأخير}$$

وعلى أي الأحوال فإن للمعادلة (15-11) ، التي تعطي زاوية الانحراف أو الزاوية

للمماسية بدلالة درجة للمنحنى وطول القوس ، لا تنطبق إلا على التعريف القوسى

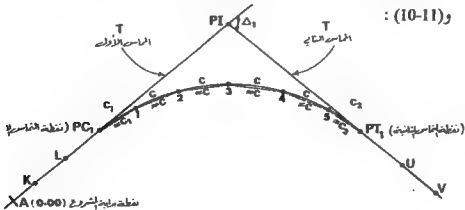
(Arc Definition) للمستند إلى قوس طوله 30m .

هـ - تخطيط المنحنيات الدائرية وتوقيعها في الطبيعة، [10م] [15م] [31م] [32م] [33م]
(Setting out or Ranging of Circular Curves)

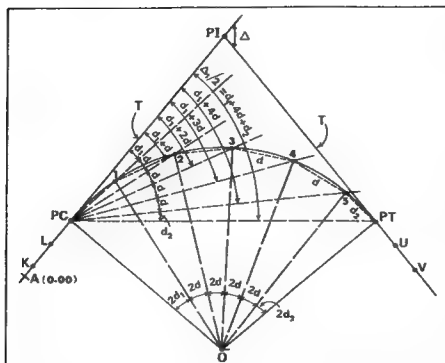
حيث أن الغرض من المنحنيات هو وصل الأجزاء المستقيمة ببعضها، بشكل تدريجي لتفادي التغيرات المفاجئة في الاتجاهات إذن لابد من تحديد وتوقيع هذه الأجزاء المستقيمة على الطبيعة ليتم ربطها بالمنحنيات اللازمة .
وكثيراً ما تكون هذه الأجزاء المستقيمة إما مثبتة وواضحة على الطبيعة في وقت سابق وإما أن تكون مجرد خطوط على الخرائط أو للمخططات حيث أرادها المصمم (بعد دراسة مستفيضة كما أسلفنا) وتم ربطها بمعلم ثابتة أو بنقاط وخطوط أساسية محددة على الخرائط والمخططات وعددة في الطبيعة .
فإذا ما تم تحديد هذه الخطوط للمستقيمة على الأرض نشرع الآن في وصل هذه الخطوط بمنحنيات دائرية بسيطة (موضوع البحث الآن) وفقاً لإحدى الطرق المناسبة وفيما يلي وصفاً لإحدى هذه الطرق : طريق رانكن أو طريقة زوايا الانحراف، حيث يستخدم جهاز الثيودوليت والشريط .

١ - طريقة رانكن أو زوايا الانحراف (Deflection Angle Method) :

ليبين هذه الطريقة نفترض أنه يراد وصل جزئين مستقيمين متتاليين ومختلفين في الاتجاه ولنفرض نقطتين مثل K , L على الجزء للمستقيم الأول ونقطتين U , V على الجزء للمستقيم الثاني فيكون تتابع خطوات العمل كالتالي ، شكلي (9-11) و (10-11) :



شكل 11 - 9 الأقواس الجزئية في طريقة رانكن



شكل 10-11 طريقة رانكن أو زوايا الانحراف في توقيع المنحنى

- - نعين نقطتي التماس وفقاً للمخططات التالية :
- يجري تمديد الخططين للمستقيمين (بالاستعانة بجهاز النيودوليت والشواخص) إلى أن يتقاطعا في النقطة PI (عادة تكون نقاط التقاطع، Pis، محدة بشكل مسبق في الطبيعة).
- يثبت جهاز النيودوليت في نقطة التقاطع PI وتقلس زاوية الانحراف Δ .
- بحسب طول كل من المماسين T معلومة زاوية الانحراف Δ ونصف القطر R الذي يتم تحديده حسب المزايا الفنية والطوبوغرافية .. للمشروع التي يرتبها للمهندس للوصم (مع ملاحظة أن بعض للنحنات تصمم على أساس درجة للنحنى وهنا يتم اشتقاق نصف القطر بدلالة درجة للنحنى هذه).
- ابتداء من نقطة التقاطع PI نقيس طولاً مساوياً لطول للماس وعلى استقامة كل من للمستقيمين UV, KL فتكون نقطة نهاية الطول للأخذ على للمستقيم KL هي نقطة

التماس الأولى PC ونقطة نهاية الطول للمأخوذ على المستقيم UV هي نقطة التماس الثانية أو نقطة نهاية للحنى PT (للتأكد من صحة العمل يجري في الحقل قياس الزاوية PI, PC, PT, ويجب عندها أن تكون مساوية لنصف زاوية الانحراف Δ). لاحظ أن محلة أو تدريج نقطة التماس PC يساوي قيمة محلة نقطة التقاطع PI مطروحاً منها طول للماس T .

* - تعيين زوايا الانحراف لعدد كافٍ من النقاط (حسب نوع المشروع ودرجة الدقة المطلوبة) وهنا تتبع الخطوات التالية :

- بحسب للحنى L معلومة زاوية الانحراف Δ (ونصف القطر R أو درجة للحنى (D) أي إما من العلاقة : $L = \pi R \Delta / 180$ أو $L = 30 \times \Delta / D$) وفق التعريف القوسي وبطول (30m).

- يقسم للحنى L إلى عدد من الأقواس الجزئية بحيث لا يتجاوز طول أي منها المقدار R/20 وذلك لتقليل الفرق بين طول القوس ووتره .

- نختار طولاً للقوس الجزئي الأول (c_1) بحيث تصبح محلة النقطة الأولى (1) رقماً مناسباً ومدوراً يقبل القسمة على (5 أو 10) دون كسر على أن يبقى هذا الطول أصغر من R/20 .

- نختار طولاً واحداً ، مناسباً ومدوراً، (c) للأقواس الوسطى بحيث تكون محطات نقاط للحنى جميعاً ذات أرباع مدورة ومناسبة ولا تتعدى أطوالها R/20 .

- نختار طولاً للقوس الجزئي الأخير من للحنى (c_2) بحيث يتم طول للحنى الكلي L أي أن: $c_2 = L - (c_1 + nc)$ حيث ترمز n إلى عدد الأقواس الجزئية الوسطى.

- بحسب الآن زوايا الانحراف الجزئية أو للمماسية لكافة الأقواس الجزئية إما من العلاقة الرياضية (11-13) :

$$(d_o)' = 1718.873 (c_o / R)$$

أو من العلاقة الرياضية (11-15) للمستندة إلى التعريف القوسي بطول (30m) :

$$(d_o)' = D^\circ (c_o)$$

للتحقق من صحة الحسابات يجب أن يكون مجموع زوايا الانحراف الجزئية للمقابلة للأقواس الجزئية $(d_1 + nd + d_2)$ مساوياً لـ $\Delta / 2$ ، انظر الشكلين (9-11)، (10-11).

* - يثبت جهاز التيودوليت فوق نقطة التماس الأولى PC وبعد ضبطه تماماً ترصد نقطة التقاطع PI أو أي نقطة أخرى باتجاه نقطة التقاطع وعلى استقامة للمستقيم الأول KL ثم نصفر الزوايا الأفقية .

* - يدور للنظار الآن بزاوية أفقية مقدارها زاوية الانحراف الجزئية الأولى d_1 فيصبح خط النظر الآن باتجاه النقطة الأولى المراد تحديدها من للنحن ثم يمسك الآن قائس خلفي Rear Chainman صفر الشريط عند نقطة التماس الأولى PC_1 بينما يمسك القائس الأمامي Leader الشريط عند التدرج للمعادل لطول القوس الجزئي الأول c_1 (الوتر الجزئي الأول تقريباً) ويشد الشريط جيداً وأفقياً (بينما يثبت القائس الخلفي وصفر الشريط عند نقطة التماس الأولى) ويبدأ بالحركة يميناً أو يساراً إلى أن يصبح الشريط وفق اتجاه خط النظر (حيث يتلقى توجيهات وإشارات سهلة وواضحة من الراصد، أي للموجه والقارئ لجهاز التيودوليت) وعندها يفرس علامة (تد خشبي أو قضيب حديدي أو أية إشارة أخرى مناسبة) بشكل رأسي وملس للتدرج مسن الشريط للوافق لطول القوس أو الوتر الجزئي الأول فتكون بذلك قد تحددت النقطة الأولى (1) من للنحن الدائري، الشكل (10-11) .

* - يدور للنظار من جديد بزاوية أفقية مقدارها d أي زاوية الانحراف الجزئية لإحدى النقاط الوسطى من للنحن بحيث تصبح قراءة الزاوية الأفقية مساوية $d_1 + d$ وعندها يمسك القائس الخلفي صفر الشريط عند النقطة الأولى (1) من للنحن التي فرغنا الآن من تحديدها بينما يمسك القائس الأمامي الشريط جيداً وأفقياً ويبدأ بالحركة يميناً أو يساراً (بينما القائس الخلفي وصفر الشريط ثابتين عند النقطة (1) إلى أن يقطع خط النظر التدرج المذكور من الشريط (يتم هذا بمساعدة الراصد حيث يعطى التوجيهات الضرورية لحركة القائس الأمامي يميناً ويساراً) وعندها يتوقف القائس الأمامي عن الحركة ويفرس في الأرض علامة ثابتة بحيث تكون بشكل رأسي

وملأ للتدرج من الشريط للمعدل لطول القوس أو الوتر الجزئي الأوسط فتعين بذلك النقطة الثانية (2) من للنحن الدائري.

* - لتعين نقطة أخرى 3 من النقاط الوسطى على للنحن الدائري ندور للنظار من جديد بزاوية أفقية مقدارها d ، أي زاوية الانحراف الجزئية للنقاط الوسطى من للنحن بحيث تصبح قراءة الزاوية الأفقية مساوية : $d_1 + d + d = d_1 + 2d$ ثم بمسك القاس الأمامي صفر الشريط عند النقطة الثانية (2) من للنحن التي فرغنا الآن من تعديلها بينما بمسك القاس الأمامي الشريط عند التدرج للمساوي لطول القوس أو الوتر الجزئي الأوسط (c) ثم يشد الشريط جيداً وأفقياً (بينما القاس الخلفي وصفر الشريط ثابتين عند النقطة (2) ويبدأ بالحركة يميناً أو يساراً إلى أن يقطع خط النظر التدرج للمذكور من الشريط وعندها يتوقف القاس الأمامي عن الحركة ويفرس في الأرض علامة ثابتة بحيث تكون بشكل رأسي وملأ للتدرج من الشريط للمقابل لطول القوس أو الوتر الجزئي الأوسط (c) فتعين بذلك النقطة (3) من للنحن الدائري.

* - تثبت النقاط للتوسطة الأخرى بنفس الأسلوب الوارد في البندين هـ ، و ، وإلى أن نصل النقطة الأخيرة من للنحن الدائري والتي تسبق نقطة التماس الثانية PT مباشرة أي النقطة (5) (لاحظ أن الزاوية الأفقية تكون هنا مساوية $d_1 + 4d$) حيث يكون خط النظر للمنظار قطعاً أو باتجاه النقطة (5) من للنحن ، شكل (10-11) .

* - الآن يدور للنظار من جديد بزاوية أفقية مقدارها d_2 فيصبح خط النظر باتجاه نقطة التماس الثانية PT (إن كان العمل والحسابات صحيحين) ثم بمسك القاس الخلفي صفر الشريط عند النقطة الأخيرة من النقاط للتوسطة على للنحن الدائري ، (5) ، في مثالنا هذا ، بينما بمسك القاس الأمامي الشريط عند التدرج للمعاجل لطول القوس أو الوتر الجزئي الأخير ويشد الشريط جيداً وأفقياً ويبدأ بالحركة يميناً أو يساراً إلى أن يتقاطع خط النظر مع التدرج للمذكور من الشريط وعندها يتوقف القاس الأمامي عن الحركة ويفرس في الأرض علامة ثابتة بحيث تكون بشكل رأسي وماسة للتدرج من الشريط للمقابل لطول القوس أو الوتر الجزئي الأخير (c_2) فتعين

بذلك النقطة الأخيرة أي PT من للنحنى الدائري لاحظ أنه يفترض أن تكون قراءة الزاوية الأفقية مساوية لنصف زاوية الانحراف Δ إن كان العمل صحيحاً .

تدقيق العمل :

- عند تثبيت النقطة الأخيرة من النقاط للتوسطة (النقطة التي تسبق نقطة التماس الثانية PT مباشرة)، أي النقطة (5) في مثالنا هذا، فإننا نقيس بالشريط للمسافة بين هذه النقطة (5) وبين نقطة التماس الثانية PT والتي سبق تحديدها عن طريق قياس طول للماس ابتداء من نقطة التقاطع PI_1 باتجاه للمستقيم الثاني UV فإن توافق هذا المقدار مع طول القوس أو الوتر الجزئي الأخير المحسوب كان العمل ممتازاً وانتهت عملية التثبيت وإن كان الفرق مهماً (5 - 10cm) فإنه يجري تعديل مواقع جميع الأوتاد للغروسة للمثلة لنقاط للنحنى الدائري بحيث تصبح للمسافة للقيسة بين العلامة أو الودد الأخير (هنا النقطة أو الودد رقم 5) وبين نقطة التماس الثانية PT_1 (أو PT كما في الشكل (10-11) متطابقة إلى حد كبير مع الطول المحسوب للوتر أو القوس الجزئي الأخير (c2) .
- لتدقيق حسابات زوايا الانحراف فإنه يجب أن يكون مجموع زوايا الانحراف $(d_1 + nd + d_2)$ مساوياً لنصف زاوية الانحراف Δ حيث ترمز n إلى عدد الأقواس الوسطى وهنا في مثالنا $n = 4$.
- إذا لم يكن قد تم تعيين موقع نقطة التماس الثانية PT فإنه يجب التأكد أولاً من أن النقطة PT (المحددة بواسطة زاوية الانحراف وطول الوتر الجزئي) تقع على استقامة للماس الثاني UV . بعد هنا يجري قياس للمسافة بين نقطة التقاطع PI ونقطة الـ PT فإن توافقت هذه للمسافة مع طول للماس المحسوب مسبقاً يكون قد انتهى توقيص للنحنى الدائري بشكل جيد وإن كان الفرق مهماً (5-10cm) فيجري تعديل مواقع الأوتاد بحيث تصبح نقطة التماس PT واقعة على استقامة خط للماس الثاني وعلى مسافة من نقطة التقاطع PI تساوي طول للماس $(R \tan \Delta/2)$. وفي حالة كـون الفرق معترراً، يزيد عن 10cm، يجب إعادة تثبيت للنحنى الدائري.

ملاحظات :

- إذا لم يكن قد تم تعيين موقع نقطة التماس الثانية PT فإنه يجب التأكد أولاً من أن النقطة PT (المحددة بواسطة زاوية الانحراف وطول الوتر الجزئي) تقع على استقامة للتماس الثاني UV . بعد هذا يجري قياس للمسافة بين نقطة التقاطع PI ونقطة الـ PT فإن توافقت هذه المسافة مع طول للتماس المحسوب مسبقاً يكون قد انتهت توقيص المنحنى الدائري بشكل جيد وإن كان الفرق مهماً (5-10cm) فيجري تعديل مواقع الأوتاد بحيث تصبح نقطة التماس PT واقعة على استقامة خط للتماس الثاني وعلى مسافة من نقطة التقاطع PI تساوي طول للتماس $(R \tan \Delta/2)$. وفي حالة كسوف الفرق معتماً ، يزيد عن 10 cm ، يجب إعادة تثبيت للمنحنى الدائري.

- إن درجة الدقة المطلوبة تعتمد على نوع الطريق وصفه وطبوغرافية للمنطقة ونوعية وكفاءة الفريق العامل وكذا الأجهزة المستخدمة ولذا فإن مقدار الخطأ المسموح به يختلف من حالة لأخرى .

- لاحظ أننا افترضنا أن طول القوس الجزئي يساوي طول الوتر الجزئي وهذا الأمر مقبول طالما لم تتجاوز أطوال الأقواس الجزئية للقدار $R/20$ وإذا ما أردنا دقة أكثر فلا بد أن ندخل الأطوال الحقيقية للأوتار والمساوية بشكل عام لـ $2R \sin d$ حيث R نصف القطر و (d) زاوية الانحراف ولكن لا حاجة لهذا الأمر عملياً .

2 - تثبيت المنحنى الدائري باستخدام جهازي ثيودوليت

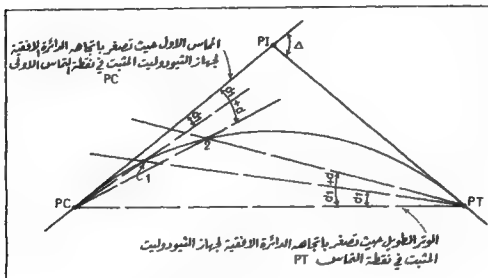
The Two- Theodolites Method of Setting out of Curves

لا حاجة هنا لاستخدام الأشرطة أو أية أدوات قياس خطية حيث يقتصر الأمر على

استخدام جهازي ثيودوليت لقياس الزوايا وإنجاز ذلك تقوم بالخطوات التالية :

- تحسب أطوال الأقواس الجزئية (c_1, c_2) كاللعداد .
- تحسب زوايا الانحراف الجزئية أيضاً كاللعداد (d_1, d_2) الشكل (11-11) .
- يحسب طول كل من المماسين وتحدد نقطتا التماس PT, PC في الطبيعة كاللعداد .

- يثبت جهاز ثيودوليت في نقطة التماس الأولى PC وتصفر الدائرة الأفقية باتجاه المستقيم أو للتماس الأول وكذلك يثبت جهاز ثيودوليت ثان في نقطة التماس الثانية PT وتصفر الدائرة الأفقية باتجاه الوتر الطويل PC, PT بدلاً من التماس أي ترصد نقطة التماس الأولى PC ثم تصفر الدائرة الأفقية .



شكل 11-11 تثبيت المنحنى الدائري باستخدام جهازي ثيودوليت

- يلف المنظار الآن بدءاً من التماس الأول بزواوية أفقية مقدارها مساو لزواوية الانحراف النقطة الأولى من المنحنى (d_1) ثم يلف في الوقت نفسه (بواسطة فريق آخر موجود في نقطة التماس الثانية) منظار الجهاز الثاني المثبت في نقطة التماس الثانية بزواوية أفقية مساوية لزواوية الانحراف نفسها (d_1) ولكن بدءاً من الوتر الطويل PC, PT لاحظ الشكل (11-11) .
- أثناء الرصد بواسطة جهازي الثيودوليت، يقوم فائس (يحمل معه شواخص وأوتاد خشبية وحديدية) بتحريك وتد أو شاخص وفق إشارات مناسبة يتلقاها من الفريقين الراصدين من نقطتي التماس إلى أن يصبح الوتد عند نقطة تقاطع خطي النظر لجهاز الثيودوليت فتكون نقطة التقاطع هذه هي النقطة (I) من للمنحنى الدائري.

- تثبيت النقطة (2) من للنحن يتابع لف منظار كل من جهازي التيودوليت للثبتين في نقطتي التماس إلى أن يقرأ على كل من الدائرتين الأفقيتين للقدر $(d_1 + d_2)$ حيث (d) هي زاوية الانحراف الجزئية للنقطة الوسطى (2) من للنحن وفي الوقت نفسه يكون القائس قد انتقل إلى موقع جديد باتجاه الموقع التقريبي للنقطة (2) من للنحن ويبدأ بتحريك وتد جديد متلقياً إشارات مناسبة من الراصدين في كل من نقطتي التماس إلى أن يصبح هذا التود على استقامة كل من خطي النظر للجهازين (أي عند نقطة التقاطع لخطي النظر للجهازين) فتحدد بذلك النقطة (2) من للنحن الدائري.
- تثبيت نقطة أخرى تتبع الأسلوب نفسه تماماً أي تدور منظار كل من الجهازين بنفس القدر ويقدر يساوي زاوية الانحراف الجزئية للنقطة للـمراد تحديدها في الطبيعة وتحدد من جديد نقطة تقاطع خطي النظر لتكون بمثابة نقطة جديدة من للنحن. لاحظ أنه في حالة الشكل (11-11) فإن تدوير كل من للنظارين يكون باتجاه دوران عقارب الساعة .

ملاحظات :

- يجب استخدام هذه الطريقة عندما تكون منطقة للنحن وعرة وغير ملائمة للقياسات الخطية باستخدام الشريط بسبب العوائق الطبيعية أو الاصطناعية، وكذلك يلجأ إلى هذه الطريقة عند عدم توافر أشرطة ولو أن هذا الأمر نادراً ما يحدث.
- هذه الطريقة مبنية على أسس أن الزاوية للماسية (أي الزاوية المحصورة بين مماس ووتر) تساوي الزاوية المحيطية أي بعارة أخرى الزاوية المحصورة بين وتر ومماس تساوي الزاوية للرسمومة على نفس الوتر والتي رأسها على إحدى نقاط محيط الدائرة.
- إذا كانت نقطتا التماس غير مرئيتين من بعضهم البعض وبالتالي لا يمكن رصد نقطة التماس الأولى PC من نقطة التماس الثانية PT فيمكن تصغير الدائرة الأفقية وفسق الوتر الطويل PC، PT بطريقة أخرى وهي أن نرصد نقطة التقاطع PI بدلاً من نقطة التماس الأولى PC وتصغر الدائرة الأفقية ثم نلف للنظار باتجاه معاكس لاتجاه دوران عقارب الساعات بمقدار $\Delta/2$ ، الشكل (11-11) ، فيصبح خط النظر باتجاه نقطة التماس الأولى PC أي وفق خط الوتر الطويل، الآن نقوم بتصغير الدائرة الأفقية من

جديد دون أن يتأثر خط النظر ونهى الجهاز لبدء القياس الفعلي باتباع الطريقة آتفة الذكر. لا داعي للتنبه هنا إلى ضرورة الانتباه إلى قراءات الزوايا واتجاه لف للنظار واستخراج القيمة الصحيحة للزاوية إذ يمكن أن يبدأ قياس الزوايا الأفقية بدءاً من قراءات مختلفة على الدائرة الأفقية ، على كل حال، إن التقييم الصائب وملاحظة العمل بذكاء وانتباه والتدقيق أو التقدير الشخصي السليم للقياسات والنتائج هي من الأمور المهمة التي يجب أن يحرص عليها للمساح الناجح باستمرار.

3 - تخطيط المنحنيات الدائرية باستخدام الأجهزة الالكترو-بصرية الحديثة :

أجهزة المحطات الشاملة [7م] [8م] [9م] [20م] [22م] [24م] [52م]

(Curve Layout Using Electro- Optical Instruments, Total Stations)

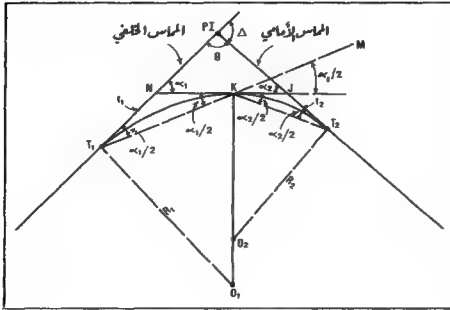
نظراً لأن أجهزة المساحة الالكتروبصرية الحديثة (Electro- Optical Instruments) أجهزة المحطات الشاملة، تمكن من قياس مسافة وزاوية في عملية رصد واحدة للجهاز (Single Pointing of the Instrument) لذا فإن استخدام مثل هذه الأجهزة في تخطيط وتوقيع المنحنيات من شأنه أن يسهل هذا الأمر مقارنة بالطرق للشروحة آنفاً . المثال رقم (6-11) يبين وصفاً تفصيلياً لاستخدام أجهزة المحطات الشاملة (Total Station) في تخطيط (توقيع) للمنحنيات الدائرية.

2-1-2-11 المنحنيات المركبة (Compound Curves) ، [31م] [32م] [41م] [42م]

يتألف للمنحنى للركب من منحنين أفقيين (أو أكثر) متتابعين بحيث تكون نقطة التماس الثانية للمنحنى الأول هي نفسها نقطة التماس الأولى للمنحنى الثاني. كذلك تكون مراكز للمنحنيات المتتابعة للشكيلة للمنحنى للركب في جهة واحدة منه كما سنرى في الأشكال التي ستلي فيما بعد .

أ - عناصر المنحنى المركب Notations and Elements of Compound Curve :

في الشكل (12-11) دعنا نرمز لنقطة تماس المنحنى للركب مع المستقيم أو للماس الخلفي (Rear or Back Tangent) بالرمز T_1 وبالرمز K لنقطة التقاء أو تماس المنحنيين الدائريين للشكلايين للمنحنى للركب وهي نفس نقطة تماس المماس المشترك Common Tangent مع المنحنى للركب كذلك دعنا نرمز بـ T_2 لنقطة تماس المنحنى للركب مع



شكل 11 - 12 عناصر المنحنى المركب

للمماس المتقدم أو الأمامي Forward Tangent وبالرمز I لنقطة تقاطع للمماس الخلفي مع
 للمماس المشترك وبالرمز J لنقطة تقاطع للمماس المشترك مع للمماس للتقدم أو الأمامي
 وبـ PI لنقطة تقاطع للمماس الأول والثاني (الخلفي والأمامي على الترتيب) أما مركز
 المحنى الدائري الخلفي أو الأيسر فسنرمز له بـ O_1 ونرمز لمركز للمنحنى الدائري الأمامي أو
 الأيمن بـ O_2 وسنرمز لزاوية انحراف للمماسين الأول والأخير (الخلفي والأمامي على
 الترتيب) بـ (Δ) ولزاوية انحراف للمماسين الأول (الخلفي) وللشترك بـ (α_1) ولزاوية
 انحراف للمماسين للشترك والأمامي بـ (α_2) كما سنرمز بـ (l_1) للطول للشارك مع
 للمماس الخلفي وهو يساوي بالطبع الجزء NK من للماس للشترك وبـ (l_2) للطول
 للشارك من للماس الأمامي وهو يساوي الجزء الثاني JK من للماس للشترك، أما منتصف

قطر للنحن الأول أو الأيسر فسنرمز له بـ R_1 وأخيراً R_2 لنصف قطر للنحن الثاني أو الأيمن . واستناداً للشكل (11-12) والرموز هذه التي اصطلاحنا عليها يمكننا كتابة :

* زاوية انحراف للماسين الأمامي والخلفي : $\Delta = \alpha_1 + \alpha_2$

* زاوية تقاطع للماسين الأمامي والخلفي : $\theta + 180^\circ - (\alpha_1 + \alpha_2)$

* طول للماس المشترك الخلفي : $N, T_1 = N, K - t_1 = R_1 \tan(\alpha_1 / 2)$

* طول للماس المشترك الأمامي : $J, T_2 = J, K = R_2 \tan(\alpha_2 / 2)$

* طول للماس المشترك (NJ) :

$N, J = N, K + JK = R_1 \tan(\alpha_1 / 2) + R_2 \tan(\alpha_2 / 2)$

* طول كل من الجزأين للتبقيين من الماس الخلفي والأمامي :

$N, J / \sin \theta = N, PI / \sin \alpha_1$

وعليه نكتب :

$N, PI = N, J \frac{\sin \alpha_2}{\sin \theta} , J, PI = N, J \frac{\sin \alpha_1}{\sin \theta}$

وبالتعويض عن قيمة NJ ينتج لدينا طول الجزء للتبقي من الماس الخلفي :

$N, PI = (R_1 \cdot \tan \frac{\alpha_1}{2} + R_2 \cdot \tan \frac{\alpha_2}{2}) \frac{\sin \alpha_2}{\sin \theta} \dots\dots\dots (16-11)$

وطول الجزء للتبقي من الماس الأمامي :

$J, PI = (R_1 \cdot \tan \frac{\alpha_1}{2} + R_2 \cdot \tan \frac{\alpha_2}{2}) \frac{\sin \alpha_1}{\sin \theta} \dots\dots\dots (17-11)$

* طول للماس الخلفي الكلي : T_b

$T_b, P_1 = N, T_1 + N, PI = R_1 \cdot \tan \frac{\alpha_1}{2} + [R_1 \cdot \tan \frac{\alpha_1}{2} + R_2 \cdot \tan \frac{\alpha_2}{2}] (\frac{\sin \alpha_2}{\sin \theta}) \dots\dots\dots (18-11)$

* طول للماس الأمامي الكلي : T_f

$T_f, PI = J, T_2 + J, PI = R_2 \cdot \tan \frac{\alpha_2}{2} + [R_1 \cdot \tan \frac{\alpha_1}{2} + R_2 \cdot \tan \frac{\alpha_2}{2}] (\frac{\sin \alpha_1}{\sin \theta}) \dots\dots\dots (19-11)$

وبملاحظة للمعادلات السبعة السابقة يتضح أنه إذا عرفت أربعة عناصر من العناصر

السبعة الأساسية ($\Delta; \alpha_1; \alpha_2; R_1; R_2; T_1, PI; T_2, PI$) فيمكن اشتقاق بقية العناصر .

ب - تثبيت المنحنيات المركبة في الحقل **Setting out a Compound Curve** :

لا جديد هنا في تثبيت للمنحنيات المركبة سوى أنه يستلزم الأمر تثبيت منحنيين دائريين بسيطين متتاليين ومختلفي القطر وعليه فيمكن توقعه في الطبيعة بإحدى الطرق المشروحة والمتبعة في تثبيت للمنحنيات الدائرية البسيطة مع ملاحظة أنه لا مجال عملياً هنا لاستخدام الطرق الخطية بل من للؤكد أن طريقة زاوية الانحراف هي الأنسب لمثل هذا النوع من المنحنيات وفيما يلي نوجز بالترتيب ما يجب إتباعه سواء كان ذلك في المكتب أم في الحقل :

- * القياس الحقل لزاويتين فقط من الزوايا الثلاثة التالية : Δ or θ α_1 and α_2 .
- * حدد نصفي قطري المنحنيين الدائريين الأيسر والأيامي المشككين للمنحنى الدائري المركب أو حدد طولي للماسين الكليين الخلفي (T_1 or PI) والأيامي (T_2 or PI) أو أحد نصفي القطرين (R_1 or R_2) وكذلك أحد طولي للماسين الكليين (T_1 PI or T_2 PI) .
- * اشتق العناصر للتبعية من العناصر الأساسية السبعة :

$$(\Delta; \alpha_1; \alpha_2; R_1; R_2; T_1, PI; T_2, PI)$$

- * حدد في الحقل نقطة تقاطع للماسين الخلفي والأيامي PI وكذلك نقطتي التماس T_1, T_2 .

- * احسب محطة نقطة الأولى (T_1) بمعرفة محطة نقطة التقاطع PI (تكون عادة معلومة) وطول للماس الخلفي الكلي (T_2 PI) وذلك من العلاقة التالية :

$$\text{Chainage of } T_1 = \text{Chainage of } PI - T_1, PI$$

- * احسب طول كل من المنحنيين الدائريين البسيطين :

$$L_1 = \pi R_1 \alpha_1 / 180, L_2 = \pi R_2 \alpha_2 / 180$$

فتكون محطة نقطة التماس الأخيرة (T_2) مساوية :

$$\text{Chainage of } T_2 = \text{Chainage of } T_1 + (\pi R_1 \alpha_1 / 180 + (\pi R_2 \alpha_2) / 180$$

أما محطة نقطة التماس المشترك K فبالطبع تساوي :

$$\text{Chainage of } K = \text{Chainage of } T_1 + \pi R_1 \alpha_1 / 180$$

* احسب أطوال الأقواس الجزئية وزوايا الانحراف الجزئية لكل من المنحنيين الدائريين على انفراد وذلك بنفس أسلوب للمنحنيات الدائرية البسيطة (حيث أن كلا من المنحنيين للشكلين للمنحنى الدائري للركب هو في الواقع منحنى دائري بسيط).

* ثبت جهاز النيودوليت الآن في نقطة التماس الأولى T_1 وبعد ضبط أفقيته تماماً أرصد نقطة التقاطع PI وصفر الزوايا الأفقية واشرع بمساعدة الشريط في توقيع زوايا الانحراف الجزئية وقياس أطوال الأوتار الجزئية لتحديد مجموعة النقاط اللازمة لتحديد للمنحنى الدائري الأول أو الأيسر وذلك باتباع نفس الأسلوب المستخدم في تثبيت للمنحنيات الدائرية البسيطة .

* الآن انتقل الجهاز إلى نقطة التماس المشتركة K وبعد ضبط الجهاز تماماً (الأفقية والتمركز فوق النقطة k) أرصد نقطة التماس الأولى T_1 واعكس المنظار (لف للمنظار في المستوى الرأسى بتدويره حول محوره الأفقي مع ملاحظة انعكاس الحركة الأفقية للمنظار) فيصبح خط النظر باتجاه KM و الآن صفر الزوايا الأفقية ولف للمنظار في المستوى الأفقي حتى تقرأ الدائرة الأفقية $\alpha_1 / 2$ فيصبح عندها خط النظر باتجاه التماس المشترك من جهة التماس الأمامي ؛ لاحظ الشكل (11-12) .

* حيث أن الجهاز مثبت في نقطة التماس المشتركة k وخط النظر باتجاه التماس المشترك أي باتجاه KJ بقي علينا أن نصفر الزوايا الأفقية بينما خط النظر لا يزال باتجاه KJ ثم بعدما نشرع في لف للمنظار بمقادير زوايا الانحراف الجزئية المحسوبة بواسطة الشريط مستخدمين بالضبط نفس الأسلوب المستخدم في توقيع للمنحنى الدائري الأول (الأيسر) أو أي منحنى دائري بسيط .

ملحوظة :

- لتحقيق دقة العمل يمكنك في الحقل قياس الزاوية $(T_1 K T_2)$ فإن كانت مساوية للمقلد : $180^\circ - (\alpha_1 + \alpha_2) / 2 = 180^\circ - \Delta / 2 = 180^\circ - \alpha_1 / 2 - \alpha_2 / 2$.

كان العمل مضبوطاً وإلا فالفرق هو مقدار الخطأ الواجب تصحيحه إن كان صغيراً أو
إهماله إن كان مهملًا أو إعادة القياس إن كان كبيراً كما سبق أن ذكرنا في بحث
المنحنيات الدائرية البسيطة .

- تجدر للملاحظة أنه بعد تحديد اتجاه للمماس الأيسر لكل من المنحنيين الدائريين للشكلين
للمنحني الدائري للركب تصبح متابعة العمل شيئاً شبيهاً تماماً بالمنحنيات الدائرية
البسيطة ولا اختلاف من حيث أسلوب الحساب والتوقيع على الإطلاق، لذا يرجى
الرجوع إلى بحث للمنحنيات البسيطة عند أي غموض .

- تجدر للملاحظة أنه بعد تحديد اتجاه للمماس الأيسر لكل من المنحنيين الدائريين للشكلين
للمنحني الدائري للركب تصبح متابعة العمل شيئاً شبيهاً تماماً بالمنحنيات الدائرية
البسيطة ولا اختلاف من حيث أسلوب الحساب والتوقيع على الإطلاق لذا يرجى
الرجوع إلى بحث للمنحنيات البسيطة عند أي غموض .

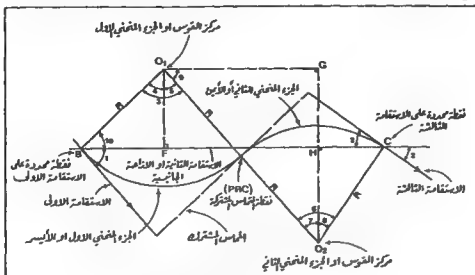
11-2-1-3 المنحنيات العكسية (Reversed Curves) ؛ [25م] [37م] [38م] [52م]

يُقَدَّر في الحياة العملية أن يلجأ للمهندس إلى وصل نقطة محدّدة على استقامة باتجاه
ما بنقطة أخرى محدّدة على استقامة أخرى بنفس اتجاه الاستقامة الأولى ولكن بوجود
إزاحة جانبية ففي مثل هذه الحالة يكون الحل باللجوء إلى للمنحنيات العكسية Reversed
Curves .

ففي الشكل (11-13) دعنا نفترض أن المحور للمقترح مبدئياً لجزء من الطريق هو
وفق للضلع المقترح ABCD (عبارة عن ثلاث استقامات جزئية متتالية) وأنه يراد عند
التصميم النهائي أن يمر محور الطريق من النقطتين B,C . من أجل ذلك نقوم بالخطوات
التالية :

- نقيس في الحقل للمسافة الأفقية للضلع BC (الاستقامة الثانية).
- نقيس الزاويتين الأفقيتين 1, 2 أي زاوية انحراف الاستقامة الثانية عن الاستقامة الأولى
وزاوية انحراف الاستقامة الثالثة عن الاستقامة الثانية على التوالي .

- نفترض ونقبل عملياً بتساوي نصفي القطرين لجزئي المنحنى الدائري العكسي الآن
يمكننا كتابة العلاقات الرياضية التالية بملاحظة تعامد كل من O_1F , O_2G على الضلع
BC :



شكل 11 - 13 المنحنى العكسي

$$\cos \hat{3} = \sin \hat{9} = \frac{GO_2}{O_1 O_2} = \frac{CH + HO_2}{2R}$$

$$GH = O_1F = R \cos \hat{4}$$

$$\hat{10} + \hat{4} = \hat{10} + \hat{1} = 90^\circ$$

$$\hat{1} = \hat{4}, \quad GH = R \cos \hat{1}$$

وبالتل يمكن البرهان على أن 2 - 8 وبالتالي :

$$HO_2 = R \cos \hat{8} = R \cos \hat{2}$$

$$\cos \hat{3} = \frac{R \cos \hat{1} + R \cos \hat{2}}{2R}$$

$$\cos \hat{3} = \frac{\cos \hat{1} + \cos \hat{2}}{2}$$

وعليه :

كذلك لدينا :

$$BC = BF + FH + HC$$

$$BF = R \sin \hat{4} = R \sin \hat{1} \quad \text{ولكن :}$$

$$HC = R \sin \hat{8} = R \sin \hat{2}$$

$$FH = O_1G = 2R \sin \hat{7} = 2R \sin \hat{3}, \quad (\hat{7} = \hat{3} \text{ بالتبادل})$$

فيصبح لدينا :

$$BC = R_1 \sin \hat{1} + R_2 \sin \hat{2} + 2R_3 \sin \hat{3} = R(\sin \hat{1} + \sin \hat{2} + 2\sin \hat{3})$$

وحيث أن الزاويتين 1 , 2 والضلع BC تم قياسها جميعاً في الحقل وكذلك الزاوية 3 تم اشتقاقها بمعلومية الزاويتين للمعلوماتين 1 , 2 ونصف القطر R إذن يمكن استنباط قيمة نصف القطر R لجزئي للنحنى العكسي من العلاقة :

$$R = \frac{BC}{\sin \hat{1} + \sin \hat{2} + 2 \sin \hat{3}}$$

كذلك يمكن بسهولة معرفة قيمتي الزاويتين للمركبتين لجزئي النحنى العكسي وهما 6 , 3 حيث :

$$\hat{3} = \hat{4} + \hat{5} = \hat{1} + \hat{5}$$

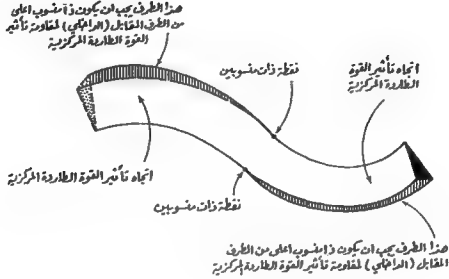
$$\hat{6} = \hat{7} + \hat{8} = \hat{3} + \hat{2}$$

الآن بمعلومية نصف القطر R ونقطة التماس الأولى B (والمحددة بشكل مسبق) والزاوية المركزية للجزء للنحنى الأولي (الأيسر) من للنحنى العكسي فإنه يمكن تحديد مختلف نقاط هذا النحنى ، كذلك بمعرفة نقطة التماس المشتركة PRC أو نقطة النحنى العكسي (Point of Reversed Curve) ونصف القطر R والزاوية للمركبة للجزء للنحنى الثاني (الأيمن) من للنحنى العكسي يمكن تثبيت العدد اللازم من نقاط هذا الجزء وبالتالي يمكن تصميم وتوقيع للنحنى العكسي بمزيج الأيسر والأيمن .

ملحوظات :

- يصبح في حالة للمنحنيات العكسية اللجوء إلى استخدام أنصاف أقطار كبيرة وفي حالة استحالة ذلك فلا بد من وضع قيود على السرعة واستخدامها فقط في حالات الطرق قليلة الأهمية حيث حركة المرور بطيئة .
- نظراً لوجود تغير مفاجيء في الاتجاه بين جزئي النحنى العكسي لذلك يستحيل عملياً اللجوء إلى زيادة لليل العرضي Superelevation فينما يتطلب أحد الأجزاء وجود ميل العرضي باتجاه معين فإن الجزء الآخر يتطلب ميل عرضي في الاتجاه للعكس لاحظ الشكل (11-14) . وبالتالي فإنه عند اللقطة للار بتقطعة التماس المشتركة تكون السرعة كبيرة تزداد القوة الطاردة للمركبة ولا نجد من علاج يخفف وطأها في هذا النوع من المنحنيات . وبسبب استحالة اللجوء إلى زيادة لليل العرضي سوى تعديل السرعة بشكل تصبح معه تأثيرات القوة الطاردة للمركبة مهملة .

- بشكل عام لا ينصح باستخدام المنحنيات العكسية إلا عند الضرورة القصوى مع ضرورة مراعاة النقاط السابقة .



شكل 11 - 14

2-2-11 المنحنيات المتدرجة (Transition or Easement Curves) (25م [38م] 52م [

1-2-2-11 مقلعة :

يعرف المنحنى للتدرج Transition or Easement Curve بأنه المنحنى الرياضي الذي يتغير فيه مقدار القطر بشكل مستمر وتدرجي على طول المنحنى وفي العادة يبدأ بنصف قطر كبير لا متناهي وينتهي بنصف قطر محدود ومن الطبيعي حسب هذا التعريف أن يكون هناك عدد كبير من المنحنيات للتدرجة المختلفة نذكر منها ثلاثة أنواع أساسية لاحقاً .

كما لاحظنا في المنحنيات الدائرية ، هناك تغير مفاجيء في مقدار نصف القطر أو الانحناء عند كل نقطة تماس بين المنحنى والجزء المستقيم من المشروع (أي عند نقطتي التماس الأولى والثانية من كل منحنى (PCs & PTs).

إن الانتقال المفاجيء عند نقاط التماس من درجة انحناء (Degree of Curvature) مساوية للصفر (حيث نصف قطر الجزء المستقيم يساوي ما لانهاية) إلى درجة انحناء محدودة (على سبيل المثال ثلاث درجات أي 3-Degree Curve أو ما يعادل $R=572.96m$) يعرض للركبة إلى تأثير القوة الطاردة المركزية (Centrifugal Force) مما يسبب إزعاجاً للمسافرين أو انقلاب للركبة إذا لم تؤخذ الضوابط الكافية من حيث سرعة للركبة وميل مقطع الطريق العرضي كما سنرى فيما بعد . من هنا يتبين لنا فائدة استخدام للمنحنيات للتدرجة التي من شأنها ضمان الانتقال التدريجي عند نقاط التماس من الأجزاء للمستقيمة ذوات درجات الانحناء للعلومة أو أنصاف الأقطار اللامتناهية في الكبر إلى أجزاء منحنية بمرجات انحناء أو أنصاف أقطار محدودة .

كذلك تسمح للمنحنيات للتدرجة بالانتقال التدريجي من مقاطع عرضية ذوات ميل عرضية ثابتة ومنظمة على الجانبين (Crowned Cross-Sections) للأجزاء المستقيمة من المشروع إلى مقاطع عرضية معلاة (Superelevated Cross-Sections) على كامل الأجزاء للمنحنية مما يسمح بمقاومة تأثير القوة الطاردة المركزية على للركبة، الشكل (11-15) .

2-2-2-11 أنواع المنحنيات المتدرجة :

أ - القطع المكاني للكمي Cubic Parabola أو القطع المكاني من الدرجة الثالثة ، شكل (11-16) ، ومعادته :

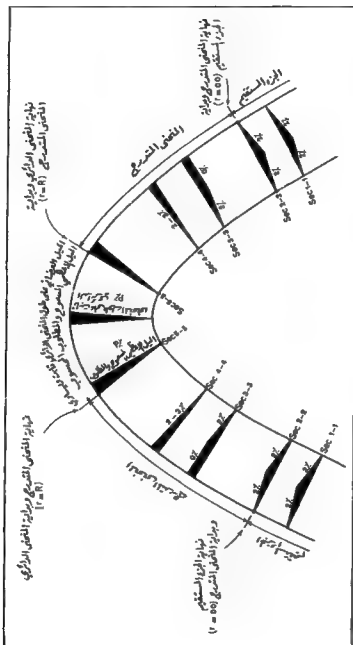
$$Y = X^3 / (6RL) \dots\dots\dots (11-20)$$

حيث X,Y ترمز إلى إحداثيات نقاط القطع المكاني للكمي .

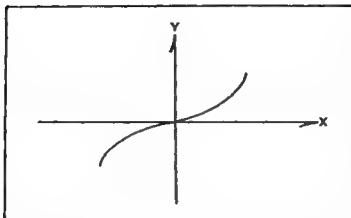
R مقدار نصف قطر .

L طول للنحن للتدرج .

وسنورد فيما بعد مزيداً من التفصيل حول هذا للنحن الذي يغلب استعماله في مشاريع خطوط السكك الحديدية .



شكل 11 - 15 التعبير التدريجي في الميل المرضي لمقاومة تأثير القوة الطاردة المركبة



شكل 11 - 16 المنحنى المكافئ المكعب

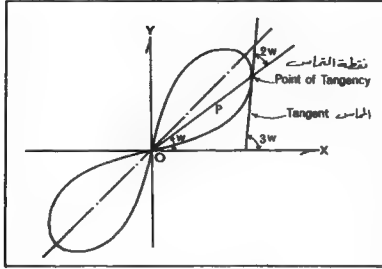
ب - ليمنسكات برنولي أو للمنحنى البيضري Lemniscate الشكل (11-17) ومعادلته بالإحداثيات القطبية على الشكل التالي :

$$\rho z = k^2 \sin 2\omega \dots \dots \dots (11-21)$$

حيث (p) هي نصف القطر الشعاعي أو القطبي (المصدر من قطب للمنحنى) أمّا (ω) فهي الزاوية القطبية المحصورة بين نصف القطر القطبي ومحور السينات، ونذكر هنا أن عميزات هذا للمنحنى كون الزاوية المحصورة بين المماس في أي نقطة على للمنحنى ونصف القطر القطبي تساوي ضعف الزاوية القطبية (ω) وعليه تكون الزاوية المحصورة بين نفس المماس ومحور السينات مساوية 3ω . كما أن من صفات هذا للمنحنى أنه مغلق وله محور تناظر وأن نصف قطره يبلغ قيمة عظيمة عند النقطة التي يكون فيها المحور القطبي (p) مثلاً بمقدار 45° فإذا ما عرف نصف القطر π ومقدار الزاوية ω أمكن حساب جميع عناصر الليمنسكات وعليه يفضل استعماله في الأراضي الوعرة وحيث يصعب تحديد النقاط باستخدام الإحداثيات العادية (X,Y Coordinate) وعلى أي الأحوال يغلب استعماله في مشاريع الطرق.

جـ- الكلوثويد (Clothoid) :

ويطلق عليه أيضاً اسم حلزون كوريز ، ذلك للاستخدام في دراسة حوادث الانتشار في مادة الفيزياء وهذا للنحنى هو المفضل من وجهة النظر الرياضية حيث يحقق



شكل 11-17 المنحنى البيضاوي (لينمسكات برنولي)

مميزات ديناميكية وهندسية مهمة في المنعطفات كما يستعمل بكثرة في مشاريع خطوط السكك الحديدية فهو يبدأ بنصف قطر يساوي الانحناء وينتهي بنصف قطر أصغر هو في الغالب نصف قطر للمنحنى الدائري للراد وصله بالمستقيم أما للعادلة الأساسية لهذا المنحنى فيمكن كتابتها على الشكل :

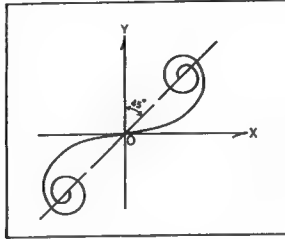
$$C = R.L \quad \dots\dots\dots (22-11)$$

حيث : C ثابت معين

R نصف القطر

L طول منحنى الكلوثويد

فيما يتعلق بالشكل العام لهذا المنحنى فهو حلزون مضاعف بالنسبة للمبدأ لاحظ
الشكل (18-11) .



الشكل 18-11 منحنى الكلوثنويد

11-2-3 مفهوم القوة الطاردة المركزية :

سبق أن تكلمنا عن وصل الأجزاء للمستقيمة مباشرة بمنحنيات دائرية بسيطة والآن
دعنا نحلل مخاطر ذلك وسبل حلها.

لتتصور عربة تسير على جزء مستقيم من طريق نصف قطره بالطبع ما لا نهاية ثم
فجأة تدخل ضمن جزء من الطريق على شكل منحن دائري ذي نصف قطر ثابت
وعدد. ما الذي يحدث ؟

في الحالة الأولى (نصف القطر ما لا نهاية) نتعلم تقريبا القوة الطاردة المركزية وفي
الحالة الثانية تتعرض العربة إلى قوة طاردة مركزية تؤثر بشكل يتعاقد مع محور الدوران
الذي هو في الواقع خط وهمي ورأسي مار بمركز للمنحنى الدائري ومن هنا سيكون اتجاه
هذه القوة الطاردة أفقيا ، وحيث أن الانتقال من الجزء للمستقيم إلى الجزء للمنحنى كان
فجائيا فلا بد أن تتعرض العربة لحظة دخولها الجزء الدائري إلى القوة الطاردة المركزية
بشكل مفاجئ والتي كما ذكرنا قد تؤدي في بعض الأحيان إلى قلب العربة وكل ذلك
بالطبع يعود إلى التغير الفجائي في نصف القطر أي من ∞ (الجزء للمستقيم) إلى R (الجزء
الدائري).

دعنا نرمز للقوة الطاردة المركزية المؤثرة على العربات أثناء سيرها على المنحني الدائري بـ w ولكتلة العربات بـ M ولسرعة العربات بـ V وبـ R لنصف قطر المنحني الدائري وأخيراً بـ g للتسارع الأرضي، عندها تكون العلاقة التي تربطها جميعاً على الشكل :

$$P = \frac{WV^2}{gR} = \frac{MV^2}{R} \dots\dots\dots (23 - 11)$$

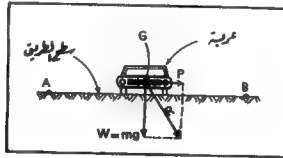
أي أن القوة الطاردة المركزية تتناسب عكسياً مع نصف قطر المنحني وعندما تكون العربات على الجزء المستقيم من الطريق يكون R ما لا نهاية (Infinity) وبالتالي القوة الطاردة P صفراً . لحظة دخولها للمنحني الدائري يكون لـ R قيمة ثابتة معينة تستمر حتى نهاية المنحني وبالتالي يكون هناك قوة طاردة مؤثرة وثابتة طالما ثبتت السرعة ، ومتغيرة طالما تغيرت السرعة (لاحظ أن التسارع الأرضي g ، وزن العربات w ونصف القطر R كلها ثوابت) ولتبع قعر القوة الطاردة المركزية من قيمة صفري (صفر) إلى قيمة عظمى بشكل فجائي نلجأ إلى المنحنيات للتدرج لتشكيل حلقة وصل بين الجزء للمنحني الدائري والجزء للمستقيم وبالتالي تعمل على امتصاص أو تلقي القوة الطاردة بشكل تدريجي حيث تستمر العربات أولاً على الجزء المستقيم ذي نصف القطر اللاهوائي دون أي تأثير للقوة الطاردة ثم تدخل للمنحني للتدرج فبدأ بتلقي قوة طاردة مركزية قيمتها الابتدائية صفر ومتزايدة بشكل منتظم وتدرجي (مع بقاء السرعة ثابتة) نتيجة لتغير نصف القطر إلى قيم أصغر فأصغر إلى أن تصل إلى مدخل منحني دائري آخر محدد وثابت القطر فتبقت عندها القوة الطاردة وتبقى على حالها حتى نهاية المنحني الدائري فإذا ما دخلت العربات الآن منحني متدرج ثانٍ يصل للمنحني الدائري بالجزء المستقيم الآخر بدأت العربات بتلقي قوة طاردة مركزية مبدئية بالقيمة الثابتة لها على طول الجزء الدائري ومتناقصة تدريجياً (مع بقاء السرعة ثابتة) نتيجة لتزايد نصف القطر إلى قيم أكبر فأكثر إلى أن تصل إلى الجزء المستقيم فتتلاشى القوة الطاردة المركزية نتيجة لبلوغ نصف القطر قيمة عظمى مقدارها اللاهوائي ، وفي أحيان كثيرة تصمم المنعطفات الأفقية بحيث تتقل العربات من منحني متدرج إلى آخر متدرج دون مرور بمنحني دائري وهنا لا نجد فرقاً من حيث

مبدأ تلقي القوة الطاردة سوى ألما تبدأ بالتناقص التدريجي مباشرة بعد بلوغها قيمتها العظمى عند نهاية النحن للترج الأول إذ يكون طول للنحن الدائري هنا بمثابة الصفر .

مما سبق نستطيع القول إن إدخال للنحنات للترج في تصميم للمنطقات يجنب الانزلاق والانقلاب ناهيك عن إسهامها في راحة للمسافرين.

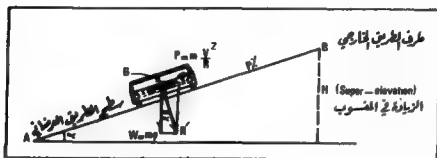
11-2-4 زيادة الميل العرضي في المنطقات Cant or Super-elevation :

من الواضح أن القوة الوحيدة المؤثرة على عربة تسير على خط مستقيم ومستوى هي وزغا فقط وإذا ما بدأت هذه العربة السير على منعطف أفقي تعرضت كما ذكرنا إلى قوة أخرى هي القوة الطاردة للركزية . في الشكل (11-19) إذا مثلنا للمقطع العرضي لجزء مستو ومنعطف (ضمن منعطف أفقي) بالخط AB و G لمركز ثقل العربة فإن كلا من القوة الطاردة للركزية ووزن العربة سيؤثران في مركز الثقل للعربة ويكون شعاع القوة للمثل لوزن العربة W متعامدا مع سطح الطريق للمستوى أما شعاع القوة للمثل للقوة الطاردة للركزية فيكون بشكل متعامد على خط سير العربة أي مواز تقريبا لسطح الطريق باتجاه العرض . وعليه فإن محصلة القوتين (R) ($R_{wsultant}$) سوف لن تكون متعامدة على سطح الطريق وبالتالي تكون العربة عرضة للتأثر بأي قوة أفقية وقد يصل هذا التأثير إلى حد الانزلاق . لمعالجة ذلك نعطي لسطح الطريق ميلا عرضانيا تصبح معه المحصلة R مساوية ومعاكسة في الاتجاه لرد الفعل العمودي على سطح الطريق، الشكل، (11-20).



شكل 11 - 19

أما قيمة هذا الميل العرضي فيتراوح بين 4% إلى 9% (حسب الأنظمة المعمول بها في مختلف الدول) أي أكبر من الميل العرضي للخصص لغايات تصريف مياه سطح الطريق الذي هو محدود 2% ويطلق على زيادة النسب الحاصلة لطرف الطريق الخارجي نتيجة لزيادة الميل العرضي — Super-elevation or Cant — لاحظ الشكل (20-11).



الشكل 11 - 20

ملاحظة الشكل (20-11) يمكن كتابة العلاقات التالية :

$$\tan \alpha = P_1 = (mv^2 / r) / (mg) = v^2 / (gr) \dots \dots \dots (24 - 11)$$

حيث ترمز r إلى نصف قطر المنحنى للتدرج في إحدى نقاطه وترمز P_1 إلى الميل العرضي لسطح الطريق ضمن الجزء الخاص بالمنحنى للتدرج وترمز α إلى الزاوية الرأسية وبما أن التسارع الأرضي هو ثابت ضمن منطقة صغيرة إذن نرمز للمقدار $1/g$ بـ C فتصبح المعادلة (24-11) على الشكل :

$$P_1 = C.V^2/r$$

$$C = (P_1)(r) / V^2 \dots \dots \dots (25-11)$$

وحيث أن قيمة الثابت C لا تتغير بتغير نوع المنحنى من متدرج إلى دائري أو العكس لذا فإنه مع بقاء السرعة ثابتة وتغير نصف القطر من r في المنحنى للتدرج إلى R من المنحنى الدائري فإنه قيمة الميل العرضي P من المنحنى الدائري تساوي :

$$P = C.V^2/R$$

$$C = (P)(R) / V^2 \dots \dots \dots (26-11)$$

ومساواة للمعادلتين (25-11) و(26-11) ، يصبح :

$$(P)(R)/V^2 = (P_1)(r)/V^2$$

$$P_1 = (P)(R)/r \quad (27-11)$$

وهذه هي العلاقة التي تعطي لليل العرضي لسطح الطريق في النحن للتدرج بدلالة اليل العرضي لسطح الطريق في النحن الدائري وبدلالة نصفي القطرين ومن هذه العلاقة تلاحظ أو اليل مستقل عن السرعة V وأنه يتغير بتغير نصف القطر من نقطة لأخرى على طول للنحن للتدرج .

نأتي الآن إلى حساب مقدار زيادة للنسوب (H) في الطرف الخارجي للطريق

$$\sin \alpha = \frac{H}{b} \quad (20-11) \text{ : الشكل}$$

وعليه فإن زيادة للنسوب تساوي :

$$\text{Super - elevation} = H = (b)(\sin \alpha) \quad (28-11)$$

حيث ترمز b إلى عرض الطريق أو خط السكة الحديدية وملاحظة تساوي الجيب مع

$$\sin \alpha = \tan \alpha \quad \text{الظل للزوايا الصغيرة أي أن:}$$

$$H = b \cdot \tan \alpha \quad \text{لما تصبح العلاقة (28-11) على الشكل :}$$

لكن :

$$\tan \alpha = P_1 = \frac{c \cdot v^2}{r}$$

وعليه :

$$H = b \cdot P_1 = \frac{b \cdot c \cdot v^2}{r} \quad (29-11)$$

وملاحظة هذه العلاقة نرى أن كلا من c , b ثابت وبالتالي فلدينا ثلاثة مجاميل هي P_1, r, V ومعرفة اثنين منها نستنتج المجهول الثالث حيث أن :

$$P_1 = \frac{c \cdot v^2}{r}$$

بالنسبة للسرعة v فهذه يحددها للمهندس للمصمم ويتبع هذا نوع الطريق أو سكة الحديد وكثافة السور وأمور فنية أخرى أما نصف القطر r فهو متغير وبشكل متدرج على طول للنحن للتدرج وبالتالي فلا بد أن تكون قيمة زيادة للنسوب Super-Elevation أيضاً متغيرة ومتزايدة وبشكل متدرج ومتناسب مع تغيرات نصف القطر على طول للنحن

للتدرج قتباً بالمقدار صفر حيث r تساوي اللانهاية عند نقطة تماس الجزء للمستقيم بالمنحنى
للتدرج وبالتالي :

$$H = \frac{b.c.v^2}{r} = \frac{b.c.v^2}{\infty} = \text{Zero}$$

ثم تزايد مع تزايد نقصان مقدار نصف القطر إلى أن تصل إلى قيمة عظمى عند تماس
للنحني للتدرج مع للنحنى الدائري (أو مع منحنى متدرج آخر) حيث يصبح مقدار نصف
القطر صغيراً وثابتاً على طول للنحنى الدائري وبالتالي تصبح الزيادة في النسوب، كسيرة
وتعطي بالعلاقة :

$$H = \frac{b.c.v^2}{R}$$

وإذا رمزنا بـ k لـ bc حيث كل منها ثابت يصبح لدينا :

$$H = \frac{k.v^2}{R} \dots\dots\dots (30-11)$$

أي أنه إذا ما تحدد نصف القطر R للمنحنى الدائري وهذا مرتبط بطبوغرافية المنطقة التي
يقع فيها المنحنى وكذلك بنوع الطريق وكثافة السير وكذلك السور وكذلك إذا ما تحددت
سرعة العرب في المنعطفات فيمكن حساب زيادة النسوب في طرف الطريق الخارجي
وعلى طول للنحنى الدائري بتطبيق العلاقة (30-11).

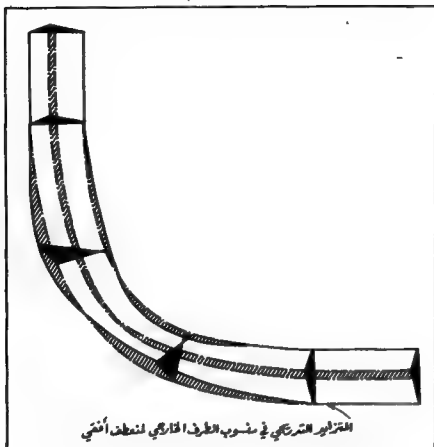
كما سبق يتضح أن للنحنى الدائري لا يسمح بزيادة النسوب بشكل تدريجي على
الطرف الخارجي لسطح الطريق وبالتالي يترتب على ذلك أن تنتقل من منسوب معين
للطرف الخارجي للطريق عند نقطة التماس بين الجزء للمستقيم والجزء للنحنى الدائري
إلى منسوب أعلى في نفس نقطة التماس ، ذلك أن زيادة النسوب عند نقطة التماس يمكن
حسابها على أساس نصف قطر للمستقيم وهو لا نهاية وبالتالي تساوي الصفر وعلى
أساس نصف قطر للنحنى الدائري R وهو قيمة ثابتة محدودة وبالتالي فإن زيادة النسوب
هنا تساوي قيمة غير الصفر فكيف يصح إذن أن يزداد النسوب فجأة في نفس النقطة؟
بالطبع لا يتم ذلك عملياً ويكون العلاج كما ذكرنا باستخدام منحنيات الوصل للتدرجة
التي تبسدي بزيادة في النسوب تساوي للصفر وتدرج في التزايد بشكل يتناسب مع
البعد عن بداية المنحنى للتدرج حتى تصل قيمة عظمى هي قيمة تزايد النسوب في

المنحنى الدائري فتثبت عليها على طول للمنحنى الدائري ثم تعود لتتناقص تدريجياً على طول للمنحنى للتدرج الثاني إلى أن تصبح هذه الزيادة صفراً عند نقطة تماس للمنحنى للتدرج مع التماس الثاني لاحظ الأشكال (11-15) و (11-21) .

ملحوظات :

- من الواضح أن العلاقة الرياضية التي تعطي مقدار لليل العرضي (أي : $P = CV^2/R$) تحتوي على ثلاثة متغيرات Three Variables وبالتالي فإنه باقتراح أو بتحديد قيم اثنين منها يمكن استنتاج قيمة للمتغير الثالث . في حالات مشاريع السكك الحديدية، تكون عادة السرعة V السرعة القصوى للمركبة (Maximum Probable Speed) التي يمكن أن يسير بها القطار على خط معين محددة ومعروفة تماماً . وفي مشاريع الطرق تكون أيضاً قيمة متوسط السرعة للصممة (Design Average Speed) معروفة . وبالنسبة لنصف القطر R فيجري عادة تحديد مقداره استناداً إلى للعطيات الطبوغرافية وتوافر الأرض (اتساع شريط الأرض للمستملك لمشروع الطريق أو سكة الحديد). وبهذا بعد تحديد مقدار كل من السرعة V ونصف القطر R يسهل استنتاج مقدار لليل العرضي ومن ثم مقدار التعلية الجانبية (Cant) .

- في مشاريع السكك الحديدية ، لا يسمح عادة بأن تتجاوز التعلية الجانبية للقطار 150mm كي لا تسبب هذا في عدم استقرار العربات خفيفة الأحمال خصوصاً عندما تكون السرعة منخفضة والرياح قوية وباعثة على إخلال توازن هذه العربات . بالطبع يمكن أن تكون هناك حاجة لزيادة التعلية عن المقدار 150mm في ظل قيم محددة للسرعة ونصف القطر ولكن مهما يكن لا يجب اللجوء في زيادة التعلية بل لابد ، بدلاً من ذلك، من زيادة نصف القطر للتقليل من مقدار التعلية بحيث تقل عن 150mm فإن تعذر هذا وأصبح مستحيلاً نلجأ عندها كحل آخر إلى تحديد سرعة العربة بحيث تسمح بعدم تجاوز التعلية للمقدار 150mm .



شكل 11-21 زيادة المنسوب بشكل تدريجي لمنطق أفقي

- من الطبيعي أن لا يكون هناك تعلية جانبية في الأجزاء المستقيمة (حافظا للمسار لهما نفس المنسوب) من المسار بينما في الأجزاء المنحنية منه (المنحنيات الأفقية) نحتاج إلى تعلية الحافة الخارجية للمسار بالمقدار الولد في إحدى العلاقات الرياضية الواردة سابقا. إن مقدار التعلية هذه يعتمد على سرعة العربة وعلى نصف قطر المنحنى ذي العلاقة. وهنا نلاحظ أن نقطة التماس بين الجزء المستقيم والجزء المنحني الذي يليه مباشرة تنطبق عليها شروط الجزء المستقيم (لا حاجة لتعلية جانبية) في آن واحد وهذا غير قابل للتطبيق عمليا. من أجل ذلك لابد من إدخال منحني تدريجي (Spiral) (Easement or Transition Curve) بين الجزء المستقيم والجزء المنحني الدائري كي يسمح بتعلية جانبية تدريجية للطرف الخارجي للمسار تبدأ بقيمة مساوية للصفر عند

نقطة التماس بين الجزء للمستقيم وللنحني للترج (أي TS) وتنتهي بالمقدار المحسوب وفق إحدى المعادلات للذكورة سابقا عند نقطة تماس للنحني للترج مع للنحني الدائري (أي SC)، الشكل (11-15). بعد ذلك يبقى مقدار التعلية الجانبية ثابتا على طول للنحني الدائري ولغاية نقطة تماس هذا للنحني الدائري مع للنحني للترج من الجهة الأخرى (أي الجهة اليمنى عند CS). ينطبق هذا الأمر تماما على وضع للنحني للترج الأيمن والتماس الأمامي .

5-2-2-11 اشتقاق معادلات النحني للترج [1م] [7م] [8م] [10م] [20م] [25م] (Derivation of Transition Curve Equations) [26م] [38م] [52م]

1 - مقدمة

تبين لنا من خلال مناقشة موضوع القوة الطاردة المركزية وزيادة للنسوب في الطرف الخارجي للمنعطيات الأفقية ما يلي :

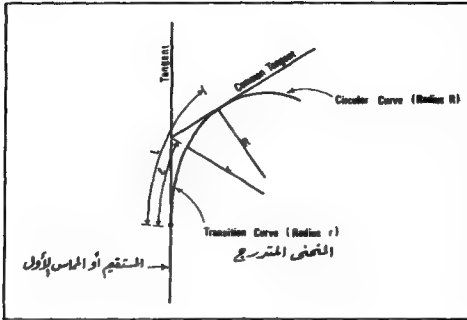
- تزايد القوة الطاردة المركزية P كلما ابتعدت العربة عن نقطة تماس للمستقيم مع للنحني للترج فإذا رمزنا ب l للمسافة المقطوعة من العربة بدئا من نقطة التماس هذه فإن P تتناسب مع l (P \propto l) لشكل (11-22) .

- في كل نقطة من نقاط للنحني للترج يكون نصف القطر ذو قيمة r متميزة عن قيم أنصاف الأقطار للنقاط الأخرى من للنحني وهذا عائد بالطبع لكون نصف قطر للنحني للترج متغيرا على طول للنحني وبالتالي فإن قيمة القوة الطاردة المركزية تختلف بين نقطة وأخرى على للنحني فإذا اعتبرنا نقطة ما من للنحني للترج ذات نصف قطر r كانت عندها القوة الطاردة المركزية معطاة بالعلاقة $P = mV^2/r$ وحيث أن كتلة السيارة m ثابتة (الوزن ثابت والتسارع الأرضي g ثابت تقريبا) إذن تكون القوة الطاردة متناسبة عكسيا مع نصف القطر بثبات السرعة V .

$$P \propto \frac{1}{r} \quad \text{أي أن}$$

$$P \propto l \quad \text{ولكن}$$

$$1 \propto \frac{1}{r} \quad \text{إذن}$$



الشكل 11 - 22

أي عند نقطة معينة من المنحنى للتدرج تكون المسافة المقطوعة بدءاً من نقطة تماس للمستقيم مع المنحنى للتدرج متناسبة عكسياً مع مقدار نصف القطر في تلك النقطة .

- قيمة الزيادة في النسوب Super-elevation للعطلي للطرف الخارجي للمنحرف أفقي تتزايد باستمرار كلما ابتعدنا عن نقطة تماس الجزء للمستقيم مع المنحنى للتدرج وهذا واضح لكون نصف القطر يتناقص بعيداً عن نقطة التماس ولجعل هذا التزايد في النسوب تدريجياً ومستمر دون انقطاع أي لجعل هذا التزايد وفق معدل منتظم فإننا نوزع هذه الزيادة على طول المنحنى بحيث تبدأ بالصفر وتتزايد وفق تزايد المسافة l وعليه فإن التزايد في النسوب يتناسب بشكل طردي ومباشر مع المسافة l وإن تزايد المسافة l هو بنفس معدل تناقص نصف القطر r بحيث يكون المقدار r ثابتاً على طول المنحنى للتدرج فإذا رمزنا للثابت بـ k يمكننا العلاقة التالية : $lr = k$.

وعند نهاية المنحنى للتدرج حيث تكون المسافة المقطوعة بدءا من نقطة التماس مساوية لـ L (أي طول المنحنى للتدرج بكامله) ونصف القطر مساو لـ R (نصف قطر المنحنى الدائري) تكون العلاقة أعلاه على الشكل :

$$Lr = LR = K \dots\dots\dots (31-11)$$

ب - طول المنحنى المتدرج (Length of Transition Curve) :

لتحديد طول المنحنى للتدرج يمكن إتباع إحدى الطرق التالية :

- 1 - بأن نحسب القيمة العظمى للزيادة في النسوب Super-elevation من العلاقة $H=b.tan \alpha$ ثم نوزع هذه الزيادة تدريجيا على طول المنحنى للتدرج بحيث يخصص لكل 10m من طول المنحنى مقلدر معين من هذه الزيادة كأن يخصص 1cm لكل 10m وعليه إذا فرضنا أن القيمة العظمى للزيادة في النسوب تساوي 15cm فيكون طول المنحنى للتدرج اللازم يساوي :

$$\frac{15cm}{1cm} \times 10m = 150m$$

أي عمليا يجري زيادة للنسوب بمقدار 1cm وبشكل متدرج على طول كل 10 من طول المنحنى للتدرج وباتجاه المنحنى الدائري .

- 2 - بأن يقترن طول المنحنى للتدرج بمعدل التسارع في التسارع القطري Radial

Acceleration وهنا إذا رمزنا لطول المنحنى للتدرج بـ L و R نصف قطر المنحنى الدائري للتصل بالمنحنى للتدرج وبـ V لسرعة العربة فإن مقدار التسارع القطري عند نقطة تماس المستقيم مع المنحنى للتدرج مع الدائري مساويا V^2/R وعليه فإن زيادة التسارع القطري من صفر في بداية المنحنى للتدرج إلى V^2/R عند نهايته تكون قد تمت خلال الفترة الزمنية التي استغرقتها العربة في قطع المنحنى للتدرج ولكن هذه الفترة مساوية لـ : $L/V = t$ وعليه يكون معدل التسارع في التسارع القطري a مساويا :

$$a = (V^2/R) / (L/V) = V^3/(LR)$$

$$L = V^3/(a.R) \dots\dots\dots (32-11)$$

وعليه إذا تم تحديد قيمة a فإنه بمعرفة نصف قطر للنحن الدائري وسرعة العربة
يسهل حساب طول النحن للتدرج .

3 - بأن يؤخذ طول مساو لقيمة مناسبة 50m or 100m 150m امتتناسا بتجارب
وغيرات سابقة وهنا بالطبع يستلزم الأمر توزيع الزيادة في النسوب على هذا
الطول للفروض بشكل تدريجي ومتنظم .

4 - بأن تحدد القيمة العظمى للزيادة في النسوب H على الطرف الخارجي ثم يحدد
للبل للراد إعطاؤها لسطح الطريق وعلى كامل للنحن للتدرج وبالتالي لابد أن
يكون هذا للبل مضروبا في طول للنحن للتدرج مساويا للقيمة العظمى والحسوبة
للزيادة في النسوب فلو افترضنا أننا نريد تطبيق الزيادة في النسوب H على أسس
(1/200) فهذا يعني

$$\frac{1}{200} \times L = H \quad \text{أن :}$$

$$L = 200 H \quad \text{أي أن :}$$

5 - بأن نفترض سرعة التصميم V ونحسب القيمة العظمى للزيادة في النسوب
ونوزعها على الزمن المستغرق في قطع مسافة النحن للتدرج ذي الطول L .
فإذا افترضنا أن الزمن يساوي t (sec) والقيمة العظمى للزيادة في النسوب H
عندها يمكننا كتابة العلاقات التالية :

$$t = \frac{L}{V} \text{ seconds}$$

وعليه تكون قيمة الزيادة للمحصنة لوحدة الزمن تساوي a وتساوي :

$$\frac{H}{t} = a$$

$$\frac{H}{L/V} = a$$

$$a = \frac{V.H}{L} \dots\dots\dots (33 - 11)$$

الآن لدينا مجهولان (بافتراض أن السرعة والزيادة في النسوب معلومتان) هما a و L
فإذا حددنا سلفا الزيادة في النسوب في وحدة الزمن (a) أمكننا عندها حساب

المجهول L (طول للنحن للتلوج) من العلاقة : $L = VH/a$ وعمليا نختار قيمة
 a تتراوح بين 2 cm - 5 cm per second .

جـ- اشتقاق المعادلات :

بمساعدة الشكل (11-23) يمكننا تصور نقطة ما x على للنحن للتلوج وتبعد
 مسافة قدرها ℓ عن نقطة التماس T_0 مقيسة وفق للنحن ومن ثم كتابة للمعادلات
 التالية :

$$d\ell = r d\Phi$$

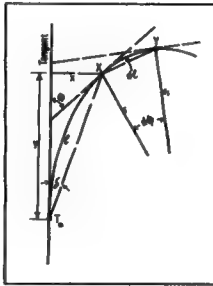
$$r = \frac{k}{\ell}$$

لكن : $r \times \ell = k$ ، وعليه :

وبالتالي :

$$d\ell = \frac{k}{\ell} d\Phi, \quad d\Phi = \frac{\ell}{k} d\ell$$

$$\int d\Phi = \int \frac{\ell}{k} d\ell, \quad \Phi = \frac{\ell^2}{2k} + c$$



الشكل 11 - 23

ولتعيين قيمة ثابت التكامل C فيكفي أن نعوض عن قيم Φ , ℓ في نقطة التماس الأولى To حيث هنا $\Phi = 0$, $\ell = 0$ وبالتالي :

$$\text{Zero} = \frac{0}{2k} + c \rightarrow c = 0$$

وعليه

$$\Phi = \frac{\ell^2}{2k} \dots \dots \dots (34-11)$$

وكما ذكرنا فإن الثابت k يساوي ℓr ويساوي أيضا LR

وعليه :

$$\Phi = \frac{\ell^2}{2 \ell r} = \frac{\ell^2}{2LR} \dots \dots \dots (35-11)$$

إن للمعادلة : $\Phi = \ell^2/2LR$ هي للمعادلة الأصلية للمنحنى للتدرج الحزوني للتالي (Ideal Transition Spiral or Clothoid Spiral) الذي يطلب تطبيقه هذه الأيام وبفضل على الأنواع الأخرى من المنحنيات للتدرجة، الآن وملاحظة الشكل (11-24) إذا لاحظنا تزايداً قوسياً XY مقداره $d\ell$ من المنحنى للتدرج بشكل زاوية مركزية قدرها $d\Phi$ فإن هذا التزايد القوسي يساوي تقريباً التزايد الوترى وتحليل التزايد الوترى $d\ell$ إلى مركبتيه الأفقية dx والرأسية dy وملاحظة أن الزاوية الواقعة بين التماس في النقطة x والوتر الصغير $d\ell$ = نصف الزاوية للمركبة للنشأة عليه أي تساوي $d\Phi/2$ فإننا نستطيع كتابة ما يلي :

$$\beta = \Phi + \frac{d\Phi}{2}$$

$$dx = d\ell \cos \alpha = d\ell \sin \beta$$

$$dy = d\ell \sin \alpha = d\ell \cos \beta$$

ومنه :

$$dx = d\ell \cdot \sin \left(\Phi + \frac{d\Phi}{2} \right)$$

$$dy = d\ell \cdot \cos \left(\Phi + \frac{d\Phi}{2} \right)$$

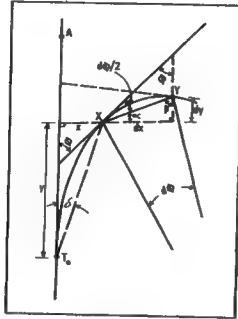
وبإهمال التزايد الزاوي $d\Phi$ نتيجة صغره بالمقارنة بـ Φ نكتب :-

$$dx = d\ell \sin \Phi, \quad dy = d\ell \cos \Phi$$

وباستخدام أحد قوتين نشر التتابع Expansion of Functions وعلى سبيل المثال قانون

ماكلاوران Max Laurin's Series

$$f(x) = f(o) + \frac{f'(o)}{1!}x + \frac{f''(o)}{2!}x^2 + \frac{f'''(o)}{3!}x^3 + \dots \frac{f^n(o)}{n!} \dots (36-11)$$



شكل 11 - 24

دعنا ننشر الآن التابعين $\cos \Phi$, $\sin \Phi$ وعلى الشكل التالي :

$$f(x) = \cos \Phi$$

$$f(o) = \cos(o) = 1$$

$$f'(o) = -\sin(o) = 0$$

$$f''(o) = -\cos(o) = -1$$

$$f'''(o) = \sin(o) = 0$$

وعليه فإنه بالتعويض عن قيم $f(x)=f(o)$, $f'(o)$, etc من قانون النشر +

لدينا $f(x)=f(o)$, $(f'(o)/1!)x$.. وإدخال قيمة Φ بدل x يصبح لدينا

$$\cos \Phi = 1 - \frac{\Phi^2}{2!} + \frac{\Phi^4}{4!} - \frac{\Phi^6}{6!} + \frac{\Phi^8}{8!} - \dots (37-11)$$

$$\sin \Phi = \Phi - \frac{\Phi^3}{3!} + \frac{\Phi^5}{5!} - \frac{\Phi^7}{7!} + \dots \quad (38-11)$$

الآن نعرض عن القيم $\sin \Phi$, $\cos \Phi$ في معادلتَي dx , dy فينتج :

$$dx = d\ell \sin \Phi = d\ell \left(\Phi - \frac{\Phi^3}{3!} + \frac{\Phi^5}{5!} - \frac{\Phi^7}{7!} + \dots \right) \quad (39-11)$$

$$dy = d\ell \cos \Phi = d\ell \left(1 - \frac{\Phi^2}{2!} + \frac{\Phi^4}{4!} - \frac{\Phi^6}{6!} + \dots \right) \quad (40-11)$$

وبالتعويض عن قيمة Φ بـ $\ell^2/2k$ ينتج :

$$dx = d\ell \left[\frac{\ell^2}{2k} - \left(\frac{\ell^2}{2k} \right)^3 \left(\frac{1}{6} \right) + \left(\frac{\ell^2}{2k} \right)^5 \left(\frac{1}{120} \right) + \dots \right] \quad (41-11)$$

$$dy = d\ell \left[1 - \left(\frac{\ell^2}{2k} \right)^2 \left(\frac{1}{2} \right) + \left(\frac{\ell^2}{2k} \right)^4 \left(\frac{1}{24} \right) - \left(\frac{\ell^2}{2k} \right)^6 \left(\frac{1}{120} \right) + \dots \right] \quad (42-11)$$

وبالتكامل ينتج لدينا :

$$\int dx = \int \left[\frac{\ell^2}{2k} - \left(\frac{\ell^2}{2k} \right)^3 \left(\frac{1}{6} \right) + \left(\frac{\ell^2}{2k} \right)^5 \left(\frac{1}{120} \right) + \dots \right] d\ell$$

$$x = \frac{\ell^3}{6k} - \frac{\ell^7}{336k^3} + \frac{\ell^{11}}{42240k^5} + \dots \text{negligible terms} \quad (43-11)$$

وبنفس الأسلوب نستنتج قيمة y :

$$y = \ell - \frac{\ell^5}{40k^2} + \frac{\ell^9}{3456k^4} + \dots \text{negligible terms} \quad (44-11)$$

ملاحظة أن ثابت التكامل C يساوي صفرًا حيث عند نقطة تماس للنحن للترج مسع للمستقيم تكون $\Phi = 0$ باعتبار أن $\ell = 0$ وعندما يكون الثابت k والمساوي لـ LR كبراً جداً فيمكن كتابة للمعادلتين (43-11), (44-11) على الشكل التالي :

$$x = \frac{\ell^3}{6k} \quad (45-11)$$

$$y = \ell \quad (46-11)$$

$$k = LR$$

ولكن :

إذن :

$$x = \frac{\ell^3}{6LR} \quad (47-11)$$

وهذه الأخيرة هي معادلة للنحن الحزوني للكعبى Cubic Spiral وإذا عوضنا عن ℓ بـ

في المعادلة (47-11) ينتج :

$$x = \frac{y^3}{6LR} \quad (48-11)$$

وهذه هي معادلة النحنى للكلاء للكعب Cubic Parabola . هنا يتم أخذ طول النحنى للترج على التماس الأول، الشكل (24-11) أي على الخط T_0A . والآن بأخذ أي قيمة y على هذا التماس نحسب لها القيمة للمقابل x بتطبيق هذه للمعادلة ($x = y^3/6LR$) وبالتالي لتعيين نقطة على النحنى تبعد مسافة مقدارها y فإننا نقيس بدءاً من نقطة التماس T_0 طولاً معادلاً لـ y ومن نهاية هذا الطول نقيم عموداً بطول مقداره x فتكون نقطة نهاية هذا العمود هي نقطة على النحنى للترج .

إن معادلتى للنحنى الحلزوني للكعبى Cubic Spiral والنحنى المكاء المكعبى Cubic Parabola هما المستخدمتان غالباً في الحياة العملية وتعتبران أشكالاً معدلة Modified forms للنحنى للترج أو الكلوئويد الحلزوني Transition or Clothoid . Spiral .

العلاقة بين δ, Φ

لقد سبق أن وجدنا قيمتي x, y من للمعادلتين (43-11), (44-11) .

$$x = \frac{\ell^3}{6k} - \frac{\ell^7}{336k^3} + \frac{\ell^{11}}{42240k^5} + \dots \quad (49-11)$$

$$y = \ell - \frac{\ell^3}{40k^2} + \frac{\ell^5}{3456k^4} + \dots \quad (50-11)$$

الآن معرفة أن $\Phi = \ell^2/2LR$ وبإدخال Φ في للمعادلتين السابقتين على هذا الأسس ينتج:

$$x = \frac{\ell^3}{6k} \left(1 - \frac{\Phi^2}{14} + \frac{\Phi^4}{440} + \dots\right) \quad (51-11)$$

$$y = \ell \left(1 - \frac{\Phi^2}{10} + \frac{\Phi^4}{216} + \dots\right) \quad (52-11)$$

وبالرجوع إلى الشكل (24-11) يمكننا كتابة :

$$\tan \delta = \frac{x}{y} = \frac{\ell^3}{6k} \frac{\left(1 - \frac{\Phi^2}{14} + \frac{\Phi^4}{440} + \dots\right)}{\left(1 - \frac{\Phi^2}{10} + \frac{\Phi^4}{216} + \dots\right)} \quad (53-11)$$

نعرض ثانية عن قيمة k بدلالة Φ حيث $\Phi = \ell^2/2k$ فيصبح لدينا :

$$\tan \delta = \frac{\Phi}{3} \left[\frac{(1 - \frac{\Phi^2}{14} + \frac{\Phi^4}{440} + \dots)}{(1 - \frac{\Phi^2}{10} + \frac{\Phi^4}{216} + \dots)} \right] \dots\dots\dots (54-11)$$

ويقبل عملياً عندما تكون زوايا الانحراف صغيرة اعتماد القيمة التالية :

$$\tan \delta = \delta = \frac{\Phi}{3} \text{ radians} \dots\dots\dots (55-11)$$

$$\delta = \frac{\Phi}{3} \dots\dots\dots (56-11)$$

ملحوظة :

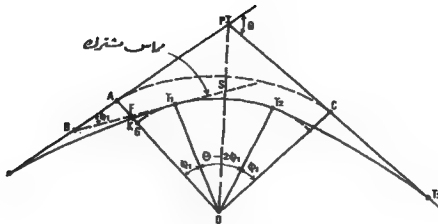
إن القيمة العظمى لـ Φ تكون عند نقطة تماس النحن للتلرج مع النحن الدائري أي عندما تكون ℓ مساوية لـ S ومنه :

$$\Phi = \frac{\ell^2}{2k} = \frac{\ell^2}{2LR} = \frac{L^2}{2LR} = \frac{L}{2R} \text{ radians} \dots\dots\dots (57-11)$$

وهي معصورة بين التماس المشترك للنحن الدائري والنحن للتلرج وبين خط الاستقامة الأولي (للماس الأول أو التماس المشترك بين الجزء للمستقيم الأول والنحن للتلرج).

مقدار الإزاحة في القوس الدائري Shift:

في استعملنا للمنحنيات للتلرجة تكون في الواقع قد استبدلنا للنحن الدائري الأصلي ذا نصف القطر R (الذي كان من الممكن الاكتفاء به لولا صغر قطره مقارنة بالسرعة ونوع الطريق) بمنحنيين متدرجين ومنحنى دائري آخر يختلف عن الأصلي. ففي الشكل (25-11) يراد استبدال النحن الدائري AC بالمنحنيين للتلرجين T_0, T_1, T_2, T_3 والمنحنى الدائري T_1, T_2 أي أن النحن الدائري الأصلي AC ميزاح بمقدار S باتجاه المركز وعليه إذا تقرر أن يكون نصف قطر النحن الدائري النهائي (للوصول بالمنحنيين للتلرجين) R فيجب أن يكون نصف قطر النحن الدائري الأصلي $R+S$ وكذلك نلاحظ من الشكل نفسه أن نقطة التماس الأصلية A قد أزيحت إلى T_0 وبالتالي فإن طول التماس قد تحول من A,PI إلى T_0,PI وأصبح التماس بين المستقيم والنحن للتلرج بدل التماس بين المستقيم والنحن الدائري مباشرة :



الشكل 11 - 25

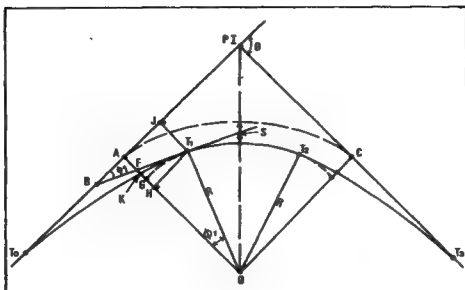
من اللتئين OFT_1, BFA لدينا الزاويتان FAB, OT_1F قائمتان (كل منهما محصورة بين مماس ونصف قطر) والزاويتان FAB, OT_1F متساويتان بالتقابل بالرأس وعليه تكون كلتا الزاويتين AOT_1, COT_2 (متساويتين) مساوية للزاوية FAB أي مساوية Φ_1 .

ومن الشكل (11-26) لدينا، مع ملاحظة أن JT_1 يمثل طول العمود المقام على المماس من نقطة تبعد بمقدار طول النحنى للترج L واللازم لتحديد نقطة تماس للنحنى للترج مع النحنى الدائري وهنا في الواقع يمثل الطول الأعظم للأعمدة الواجب إقامتها من المماس لتحديد مجموعة نقاط من النحنى للترج (طريقة النحنى للكفاءة للكمعي Cubic Parabola) وأن S ترمز إلى مقدار الإزاحة :

$$S = AG = AH - GH = JT_1 - GH$$

$$S = JT_1 - (GO - HO)$$

$$S = JT_1 - (R - R \cos \Phi_1)$$



الشكل 11-26

الآن نعوض عن قيم Φ_1 , JT_1

وحيث أن JT_1 وهو كما ذكرنا طول العمود المقام على المماس من نقطة تبعد L (طول للحن للترج) عن نقطة تماس للحن للترج من المستقيم أو للمماس الأول إذن نمتيح

$$x = \frac{\ell^2}{6LR} \quad \text{طول } JT_1 \text{ بالتعويض عن قيمة } \ell \text{ بـ } L \text{ في المعادلة (11-47) :}$$

$$JT_1 = \frac{L^2}{6LR} \quad \text{أي أن :}$$

أما Φ_1 فهي القيمة العظمى لـ Φ أي الزاوية التي يكونها للمماس الأول أو للمستقيم الأول وقد سبق أن اشتقت ووجدت مساوية :

$$\Phi = \frac{L}{2R}$$

وبالنسبة لـ $\cos \Phi_1$ فقد سبق وأن أوجدنا قيمتها بالنتشر حسب قانون ماكلوران وكانت مساوية :

$$\cos \Phi_1 = 1 - \frac{\Phi_1^2}{2!} + \frac{\Phi_1^4}{4!} - \dots$$

وعليه تصبح للمعادلة التي تعطي قيمة الإزاحة S على الشكل التالي :

$$S = \frac{L^3}{6LR} - [R - R(\ell - \frac{\Phi_1^2}{2!} + \frac{\Phi_1^4}{4!} \dots)]$$

$$S = \frac{L^3}{6LR} - R + R - \frac{R\Phi_1^4}{24}$$

ويإهمال الحدود ذات القوى الأكبر من 2 نظراً لصغر قيمتها يتج :

$$S = \frac{L^3}{6LR} - \frac{R\Phi_1^2}{2}$$

$$S = \frac{L^3}{6LR} - \frac{R}{2} \left(\frac{L}{2R}\right)^2$$

$$S = \frac{L^3}{6LR} - \frac{R}{2} \left(\frac{L^2}{4R^2}\right)$$

$$S = \frac{L^3}{6LR} - \frac{L^2}{8R} = \frac{L^2}{6R} - \frac{L^2}{8R}$$

$$S = \frac{L^2}{24R} \dots\dots\dots (58-11)$$

مقدار الإزاحة في نقطة التماس A_0 :

من الشكل (11-26) لدينا الجزء T_1K من للنحنى للتدرج يساوي تقريباً الجزء

$$T_1k = T_1G \quad \text{من للنحنى الدائري أي أن :}$$

$$T_1G = R \Phi_1 \quad \text{ولكن :}$$

$$T_1k = R \Phi_1 \quad \text{وعليه :}$$

$$T_1k = \frac{LR}{2R} = \frac{L}{2} \quad \text{وبالتعويض عن } \Phi \rightarrow L/2R \text{ يصبح لدينا :}$$

أي أن النقطة k تقع تقريباً في منتصف للنحنى للتدرج وحيث أن نصف قطر للنحنى للتدرج يكون عادة كبيراً لذا فإن انحراف للنحنى عن للملص يكون قليلاً وبالتالي يمكن

بتقريب جيد اعتبار العلاقة التالية صحيحة :

أي أن الإزاحة في نقطة التماس تساوي نصف طول للنحنى للتدرج ..

6-2-2-11 ترتيب الحسابات Setting-out Calculations :

من المعتاد عملياً أن تكون للمعلومات اللازمة لتثبيت للنحنيات للتدرجة مرتبة وفق جداول معدة خصيصاً لغايات تصميم الطرق آخذة بعين الاعتبار مختلفة سرعات السيارات ومختلف أنصاف الأقطار المناسبة ولكن اعتقد أن للمهندس بحاجة ماسة إلى معرفة طريقة الحصول عليها واشتقاقها عند اللزوم وفيما يلي ترتيب للعناصر والقوانين الأساسية للمشاركة في توقيع للنحنيات للتدرجة .

1 - تحدد درجة للحنى D أو مقدار نصف قطر للحنى الدائري للوصول من طرفية بمنحنيين متدرجين وكما قلنا يعتمد هذا على طوبوغرافية الموقع ومزايا الطريق الفنية من حيث السرعة وللليل العرضي (Super-elevation) .

وفيما يلي جدول يمكن الاستئناس به لتحديد نصف القطر بمعرفة سرعة العربة ودرجة للليل العرضي فقط أي دون أخذ مسافة الرؤية بعين الاعتبار.

2 - قياس زاوية انحراف الجزئين للمستقيمين (Deflection Angle) . إن قياس زوايا الانحراف Θ يأتي كمرحلة لاحقة لمراحل تخطيط الطريق على الخرائط والصور الجوية فإذا ما تم تصميم محور الطرق على الصور الجوية والخرائط وتم توقيعه على الطبيعة بمعرفة إحداثيات عدد كاف من النقاط للتميزة والمهمة (نقاط تقاطع الخطوط للمستقيمة (Point of Intersections (P.I) أو بالاستعانة بالنقاط والخطوط الأساسية التي تم إنشاؤها في الحقل في أثناء المسح الطوبوغرافي لشريط الأرض موضوع الدراسة ، أصبح الأمر في غاية البساطة وقد سبق أن أشرنا إلى قياس هذه الزاوية في بحث للمنحنيات الدائرية البسيطة .

3 - حساب طول للحنى للتدرج L

لقد سبق أن أوضحنا بضعة طرق لحساب للحنى للتدرج ويمكن تطبيق أي واحدة منها لحسابه ، على سبيل المثال نطبق العلاقة :

$$L = \frac{V^3}{aR}$$

حيث : V : سرعة العربة Km/hr

R : نصف قطر للحنى الدائري (m)

a : معدل التفور في التسارع القطري m/Sec³ .

4 - حساب الإزاحة S

$$S = \frac{L^2}{24R} \quad \text{هذه تحسب من العلاقة :}$$

حيث أن كلا من L (طول للحنى للتدرج) و R (نصف قطر للحنى الدائري) أصبح معلوماً .

5 - حساب طول للملص

بملاحظة الشكل (11-26) يتبين أن طول للملص PI, T_o :

$$PI, T_o = PI, A + T_o A$$

لكن سبق أن أوجدنا قيمة $T_o A$:

$$T_o A = \frac{L}{2}$$

أما PI, A فهو يساوي نصف قطر القوس الدائري الأصلي $(R + S)$ مضروباً في ظل نصف الزاوية المركزية للنشأة عليه ، أي أن

$$PI, A = (R + S) \tan \frac{\Theta}{2} + \frac{L}{2}$$

وقد سبق أن اشتقنا هذه العلاقة في بحث للنحنيات الدائرية البسيطة . وعليه يصبح طول للملص PI, T_o مساوياً .

$$PI, T_o = (R + S) \tan \frac{\Theta}{2} + \frac{L}{2} \dots\dots\dots (59 - 11)$$

6 - تعيين نقطة التماس T_o :

نقيس بدءاً من نقطة التقاطع PI وفق استقامة للمستقيم الأول (الملص الأول PI, T_o) طولاً قدره PI, T_o المحسوب أعلاه فتكون نقطة نهاية هذا الطول هي نقطة التماس بين خط المستقيم الأول وللنحني للتدرج أي النقطة T_o .

7 - تحديد أطوال الأوتار أو الأقواس الجزئية :

تحديد أطوال الأوتار الجزئية بحيث لا تتعدى للقدر $R/40$ أي نصف أطوال الأوتار الجزئية الخاصة بالمنحنى الدائري ولا بد من للملاحظة هنا أيضاً أن طول الوتر الجني الأول T_{o1} يختار بحيث تصبح محطة النقطة الأولى رقماً مدوراً يقبل القسمة دون كسر على 5 أو 10 ثم تتلوها أوتار جزئية متساوية C وبحيث لا تتعدى أطوالها أيضاً $R/40$ وتكون محطات النقاط التابعة لها أرقاماً مدورة مناسبة أيضاً وفيما يتعلق بالوتر الجزئي الأخير يكون طوله بالطبع مساوياً لطول للنحني للتدرج مطروحاً منه طول الوتر الجزئي الأول وبمجموع أطوال الأوتار الجزئية الوسطية .

8 - تحديد زوايا الانحراف :

لحساب زاوية الانحراف Δ لنقطة ما على المنحنى لابد أولاً من تحديد مقدار المسافة بين هذه النقطة بين نقطة تماس المنحنى للتدرج مع الخط المستقيم وفق المنحنى للتدرج (نظرياً) أي قياس للمسافة l (Progressive Chainage from T_0) وهي تساوي بتقريب جيد مجموع أطوال الأوتار الجزئية ما بين هذه النقطة ونقطة التماس T_0 بالنسبة للمنحنى للتدرج الأيسر أما بالنسبة لنقاط المنحنى للتدرج الأيمن فيؤخذ مجموع أطوال الأقواس أو الأوتار الجزئية ما بين النقطة للمنحرة ونقطة التماس الأخيرة (T_1) .

وحيث أن العلاقة بين زاوية الانحراف δ وبين الزاوية ϕ هي :

$$\delta = \frac{\Phi}{3} \quad \text{فيالتمريض عن قيمة } \phi :$$

$$\Phi = \frac{l^2}{2RL} \text{ radians} \quad \text{يصبح لدينا:}$$

$$\delta = \frac{l^2}{2RL} \text{ radians}$$

$$\delta = \frac{l^2}{6RL} \times \frac{180^\circ}{\pi} \text{ degrees}$$

$$\delta = \frac{l^2}{6RL} \times \frac{180^\circ}{\pi} \times 60 \text{ minutes}$$

$$\delta = \frac{1800}{\pi} \times \frac{l^2}{RL} \text{ minutes} \dots\dots\dots (60 - 11)$$

ملحوظة :

لمعرفة زاوية الانحراف δ التي تخص النقطة الأخيرة من المنحنى للتدرج T_0 أي نقطة تماس المنحنيين الدائري والتدرجي يكفي أن نعوض في المعادلة أعلاه عن قيمة l بـ L (طول المنحنى للتدرج) حيث تشكل بعينها المسافة وفق للمنحنى للتدرج ما بين النقطتين للمتحرة T_1 ونقطة التماس الأولى T_0 وعليه :

$$\delta_x = \frac{\Phi_1}{3} = \frac{1800}{\pi} \times \frac{L^2}{RL}$$

$$\delta_x = \frac{1800}{\pi} \times \frac{L}{R} \text{ min}$$

و - توقيع نقاط للنحن للترج Setting out the Transition Curve

هنا سنميز بين طريقتين :

أ . باستخدام الأشرطة (قياسات خطية) فقط دون حاجة لقياس زوايا انحراف
وهنا يمكن استعمال للنحن للكعي الحزوني Cubic Spiral أو للنحن
للكالء للكعي Cubic Parabola .

حيث كما ذكرنا معادلة للنحن للكعي الحزوني هي :

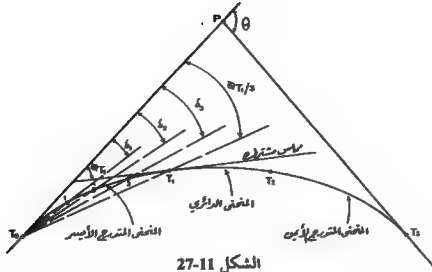
ومعادلة للنحن للكعي للكالء هي :

وفي كل من هاتين للمعادلتين وبالنسبة لنقاط للنحن للترج الأيسر يجري
فيلس مسافة على للماس الأول PI , T_0 وبدءاً من النقطة T_0 قدرها l (بعد
النقطة عن نقطة التماس الأولى T_0) ثم من نهاية هذا الطول يقسم عمود
بطول قدره x محسوباً من إحدى للمعادلتين السابقتين فتكون نقطة نهاية
العمود هي نقطة على للنحن للترج مع ملاحظة أن $y = l$.

ملحوظة :

يفلب استخدام هذه الطريقة في المرحلة الأولى من التصميم وحيث لا حاجة إلى
دقة كبيرة .

ب . باستخدام الأشرطة جنباً إلى جنب مع جهاز التيودوليت وباستعمال معادلة
لنحن للكعي الحزوني Cubic Spiral . هنا في هذه الطريقة يتم إجراء
قياسات خطية وأخرى زاوية فلتعين النقطة الأولى شكل (11-27) من للنحن
للتلرج ينصب جهاز التيودوليت أولاً في نقطة التماس الأولى T_0 ثم يوجه خط
النظر باتجاه أي نقطة على للماس PI , T_0 ثم تصفر الزوايا الأفقية وبعدها يلف
للنظار باتجاه دوران عقارب الساعة (حسب الشكل 11-27) بمقدار زاوية
الانحراف $(\delta_1 = (1800 / \pi)(l_1^2 / RL))$ ثم يقلى وفق خط النظر الجديد الحالي
مسافة قدرها طول الوتر الجزئي الأول c_1 فتكون نقطة نهاية الوتر الجزئي هذا
هي موقع النقطة الأولى 1 من للنحن للترج .



الشكل 11-27

لتحديد نقطة ثانية 2 من للمنحنى للتدرج نتابع تدوير المنظار حتى نقسراً على الدائرة الأفقية للقدار δ_2 وتساوي: $\delta_2 = (1800 / \pi) (\ell_2^2 / RL)$ وهنا تكون ℓ_2 الداخلة في القانون مساوية : $\ell_2 = c_1 + c$ ثم نضع صفر الشريط عند النقطة ℓ التي تم تعديلها في الطبيعة ونشد الشريط بشكل مستقيم وافقي ونتحرك به يمينا أو يساراً حتى يقطع خط النظر الشريط عند التدرج للمعادل لطول الوتر الجزئي الثاني ومقداره c عندها نفرس وتداً بشكل رأسي وملس لنقطة التقاطع هذه فيكون الودت بمثابة النقطة 2 من للمنحنى للتدرج .

لتحديد نقطة ثالثة 3 من للمنحنى للتدرج نتابع تدوير المنظار حتى نقسراً على الدائرة للقدار δ_3 وتساوي : $\delta_3 = (1800 / \pi) (\ell_3^2 / RL)$ ونأ تكون ℓ_3 الداخلة في القانون مساوية : $\ell_3 = c_1 + 2c$ ثم نضع صفر الشريط عند النقطة 2 التي تم تعديلها في الطبيعة ونشد الشريط بشكل مستقيم وافقي ونتحرك به يمينا ويساراً إلى أن يتقاطع خط النظر مع الشريط عند التدرج للمعادل لطول الوتر الجزئي الثالث c وعندها نفرس وتداً بشكل رأسي وملس لنقطة خط النظر مع الشريط فيكون هذا الودت بمثابة النقطة 3 من للمنحنى للتدرج وهكذا دواليك بالنسبة لبقيّة النقاط وحتى تقطة ممس للمنحنى للتدرج مع للمنحنى الدائري أي

حتى T_1 والتي نحدد أيضاً بنفس الأسلوب أي يلف للنظار حتى نقرأ على الدائرة الأفقية للقلندر :

$$\delta_{\pi} = \frac{1800}{\pi} \times \frac{\ell_{\pi}^2}{RL} \text{ min}$$

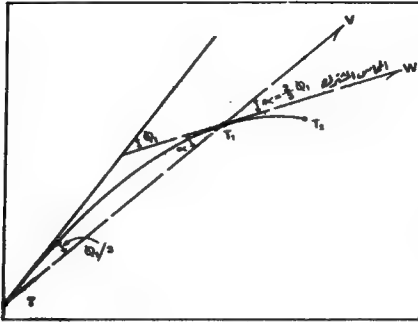
ولكن $\ell_{\pi} = L$ إذن :

$$\delta_{\pi} = \frac{1800}{\pi} \times \frac{L^2}{RL} = \frac{1800}{\pi} \times \frac{L}{R} \text{ min}$$

ثم نضع صفر الشريط عند النقطة التي تسبقها مباشرة والتي تم تعديلها على الأرض ثم يشد الشريط أفقياً ويحدد نقطة تقاطع خط النظر مع الشريط عند التدرج للمعادل لطول الوتر الجزئي الأخير c_2 والمساوي لطول المنحنى للتدرج مطروحاً منه طول الوتر الجزئي الأول c_1 وبمجموع الأوتار الجزئية الوسطى $n \times c$ بفرض أن عددها n ونفرس وتبدأ بشكل رأسي وعملى لنقطة تقاطع هذه فتحدد نقطة التماس T_1 .

10 - تحديد اتجاه للمماس المشترك بين المنحنى الدائري والمنحنى للتدرج لتوقيع نقاط للمنحنى الدائري (إن وجد إذ قد يكون طوله مساوياً للصفر) . لابد أولاً من تحديد اتجاه للمماس المشترك Common Tangent لنا وبالاستعانة بالشكل (11-28) نلاحظ أنه عند تحديد التماس T_1 يكون خط النظر باتجاه يكون مع للمماس

$$\text{للمشترك زاوية مقدارها } \alpha \text{ حيث : } \alpha = \phi_1 - (\phi_1 / 3) = \frac{2}{3} \phi_1$$



الشكل 11 - 28

وعليه لتحديد اتجاه للمماس المشترك $T_1 W$ يكفي أن نقل جهاز الشودوليت إلى نقطة التماس T_1 ثم بعد ضبط التمرکز والأفقية نوجه للنظار إلى نقطة التماس T_0 ونثبت الحركة الأفقية ونعكس للنظار بتدويره في المستوى الرأسي فيصبح باتجاه V أي على استقامة $T_0 T_1$ ثم نصفر الدائرة الأفقية (عداد قبلي الزوايا الأفقية) ونلف للنظار بمقدار:

$$\alpha = \frac{2}{3} \phi_1$$

فيصبح اتجاه خط النظر وفق اتجاه للمماس المشترك ، وهنا نثبت علامة محدة ومناسبة على هذا الاتجاه للتوجه نحوه مستقبلاً إن لزم الأمر .

11 - تحديد نقاط من المنحنى الدائري :

بعد أن نكون قد حددنا نقطة التماس T_1 (نقطة تماس للمنحنى الدائري مع للترج) واتجاه للمماس تصبح المسألة مسألة تثبيت منحنى دائري بسيط وبالتالي

تتبع نفس أسلوب وحسابات اللحنيات الدائرية البسيطة إذ تقوم بإخطوات التالية :

- تحسب الزاوية المركزية للمقابلة للمنحنى الدائري بكامله وللماوي (ملاحظة الشكل 11-25) لـ $2\phi_1 - \Theta$.

- بحسب طول للمنحنى الدائري من العلاقة : $L = \frac{\pi R}{180} (\Theta - 2\phi_1)$

- تحسب أطوال الأقواس أو الأوتار الجزئية بحيث لا يتعدى طول كل منها $R/20$.

- تحسب زوايا الانحراف من العلاقة $\delta = (1718873 \pi c / R)$ عندما يكون نصف القطر عدداً أو من العلاقة $\delta = (C \times D)$ عندما تكون درجة للمنحنى محددة).

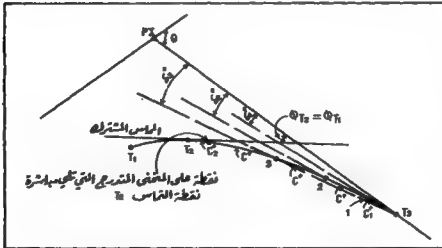
- توقع نقاط للمنحنى الدائري عاماً باتباع نفس أسلوب للحنيات الخاصة بكل نقطة مع ملاحظة أن يكون طول القوس الجزئي الدائري الأول C_1' لا يتعدى $R/20$ وفي الوقت نفسه بحيث تصبح عطة النقطة الأولى 1 من للمنحنى الدائري رقماً مدوراً مناسباً يقبل القسمة على 5 أو 10 دون كسر ثم تأتي الأقواس الوسطية والتي أيضاً لا تتعدى أطولها $R/20$ وتكون أرقاماً مدورة مناسبة أما القوس الجزئي الأخير C_1' فيكون مساوياً لطول للمنحنى الدائري الكلي L' مطروحاً منه طول القوس الجزئي الأول C_1' ومجموع أطوال الأقواس الجزئية الوسطى nc بفرض أن عددها يساوي n .

12 - تثبيت للمنحنى للتلرج الأيمن نحدد نقطة التماس T_3 بأن نقيس بدءاً من نقطة التقاطع PI مسافة قدرها طول للماس الكلي $T_3 = PI, T_3 = PI, T_3$ فتكون نقطة نهاية للمسافة هذه هي نقطة التماس T_3 . الآن نثبت جهاز التيودوليت فوقها وبعد ضبط التمرکز والأفقية نرصد نقطة التقاطع PI ونصنر الدائرة الأفقية ونلف باتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة ، في حالة الشكل (11-29)، زاوية أفقية قدرها δ_1 ثم نقيس وفق خط النظر بدءاً من نقطة التماس T_3 مسافة تساوي طول القوس الجزئي الأول c_1 فتحدد النقطة الأولى من للمنحنى للتلرج

الأيمن وتتابع العمل بنفس أسلوب المنحنى للتدرج الأيسر ولا نلاحظ اختلافاً سوى أن اتجاه لف للنظار يكون بالاتجاه للمعاكس .

ملحوظة :

يجب أولاً أن نحدد قيمة القوس الجزئي الأخير c_2 للمنحنى للتدرج الأيمن لاحظ الشكل (29-11) لللاصق للمنحنى الدائري بحيث لا يتعدى طوله $R/40$ وفي الوقت نفسه تكون محطة النقطة على المنحنى للتدرج (انظر الشكل 29-11) التي تلي مباشرة نقطة التماس T_2 (نقطة تماس المنحنى الدائري مع المنحنى للتدرج الأيمن) رقماً مدوراً مناسباً كما أشرنا من قبل ، أما أطوال الأقواس الجزئية الوسطية c فلا تتعدى $R/40$ وبالنسبة لطول القوس الجزئي الأول c_1 فيكون طوله مساوياً لطول المنحنى للتدرج L مطروحاً منه طول القوس الجزئي الأخير c_2 وبمجموع أطوال الأقواس الجزئية الوسطى $n c$ بفرض أن عددها n .



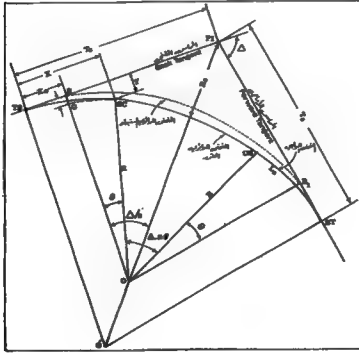
الشكل 29-11

7-2-2-11 المنحنى الدائري الموصول بمنحنيين لوليين مماثلين

(Equal-Tangent Spiraled Circular Curve)

فيما يلي شرح واف للمنحنى اللولبي (Spiral Curve) الذي يُعَدُّ من أكثر المنحنيات التصريفية شيوعاً نظراً لمزاياه للفضلة ومن أهمها تغير انحنائه بمعدل ثابت (Constant Rate) .

يوضح الشكل (30-11) منحنى دائرياً موصولاً عند طرفيه بمنحنيين لوليين متشابهين تماماً طول كل منهما L_s ، نطلق على المنحنى الأيسر (بالقتراس أن تقدم العمل يتم من اليسار نحو اليمين) للمنحنى اللولبي للقارب (Approach Spiral) ونطلق على المنحنى الأيمن للمنحنى اللولبي للمغادر (Leaving Spiral) .



الشكل 30-11 المنحنى الدائري الموصول بمنحنيين لوليين مماثلين

أما الرموز الظاهرة على الشكل (11-30) فلها الدلالات التالية :

الرمز : للمعنى

LS	طول للنحن اللولبي
TS	نقطة اتصال للملأ الخلفي (Back Tangent) بالنحن اللولبي للمقارب (Tangent to Spiral).
SC	نقطة اتصال للنحن اللولبي بالنحن الدائري (Spiral to Curve) حيث درجة انحناء للنحن اللولبي هي نفس درجة انحناء للنحن الدائري وقد بلغها للنحن اللولبي بشكل تصاعدي تدريجي ابتداء من الصفر عند نقطة الـ TS .
CS	نقطة اتصال للنحن الدائري بالنحن اللولبي (Curve to Spiral) .
ST	نقطة التقاء للنحن اللولبي للملأ الأمامي (Spiral to Tangent) وهنا تكون درجة انحناء للنحن اللولبي مساوية لدرجة انحناء الخط للمستقيم ، أي 0° .
O	مركز للنحن الدائري .
OB	الخط العمودي على للملأ الخلفي وللوازي أيضاً للخط TS, O'.
G	نقطة إنتقاء امتداد للنحن الدائري من جهة الـ SC للخط OB (أي أن $OG=R$)
BG	رمية (Throw) للنحن اللولبي وسنرمز له بـ "t"
X ₀	للمسافة الأفقية بين النقطتين TS,B مقيسة عو للملأ الخلفي .
X,Y	الإحداثيات السيني (للمسافة للماسية) والصادي (للمسافة العمودية) للذنان بمحددان موقع نقطة الـ SC بالنسبة لنقطة TS ، يقاس الإحداثي السيني X عو للملأ ويقاس الإحداثي الصادي Y وفق الاتجاه العمودي على للملأ.
θ	الزوايا المحصورة بين الخط OB والخط القطري O-SC ويطلق عليها زوايا للنحن اللولبي وهي أيضاً الزوايا المحصورة بين للملأ الخلفي والملأ المشترك للمنحنين الدائري واللولبي الأيسر (المقارب)، أي الزوايا ϕ في الشكل (11-25).

T_s طول التماس الممتد بين نقطة التقاطع (PT) وكل من نقطتي تماس الخط للمستقيم مع

المنحنى اللولبي للقارب (TS) و تماس الخط للمستقيم مع المنحنى اللولبي للغادر (ST)،

$$\text{أي أن } P_L, TS = P_L, ST = T_s$$

E_s للمسافة الخارجية (External Distance).

R نصف قطر المنحنى الدائري .

s مقلد الإزاحة (Shift) في المنحنى الدائري الأصلي أو المستبدل (BB_1) .

وعليه فإنه استناداً إلى الشكل (10-30) يمكن الرهان على العلاقات الرياضية

التالية (أنظر للملحق رقم -١-).

$$x = L_s \left[1 - \frac{\theta^2}{5(2!)} + \frac{\theta^4}{9(4!)} - \frac{\theta^6}{13(6!)} + \dots \right] \dots \dots \dots (61-11)$$

$$r = L_s \left[\frac{\theta}{3} - \frac{\theta^3}{7(3!)} + \frac{\theta^5}{11(5!)} - \frac{\theta^7}{15(7!)} + \dots \right] \dots \dots \dots (62-11)$$

حيث ترمز M إلى طول المنحنى اللولبي ويكون عادة معلوماً أو محسوباً وفق إحدى

الطرق التي ورد ذكرها آنفاً أما θ (زوايا المنحنى اللولبي) (Spiral Angle) فيمكن

حسابها بمعلومية طول المنحنى اللولبي M ودرجة المنحنى الدائري D_s على الشكل

التالي :

$$\theta = \frac{L_s D_s}{60} \dots \dots \dots (63-11)$$

مع ملاحظة أن قيمة θ الداخلة في المعادلات (61-11) , (62-11) مقننة بالدرجات

بينما قيمة θ الداخلة في المعادلة (63-11) مقننة بالدرجات .

لحساب الإحداثي السيني أو للمسافة المماسية (Tangent Distance) والإحداثي

المضادي (Offset Distance) لنقطة ما P من المنحنى اللولبي ، الشكل (11-1) :

، مقاسة عم خط المنحنى اللولبي

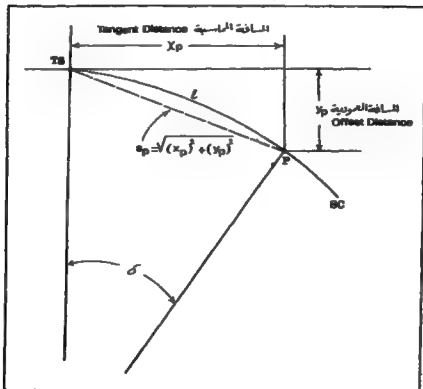
من نقطة التماس TS ولنفترض أيضاً أن الزاوية δ هي الزاوية المركزية للمقابل

للمسافة L مقننة بالراديان ، علماً يمكن الرهان على أن :

$$x = \ell \left[1 - \frac{\delta^2}{5(2!)} + \frac{\delta^4}{9(4!)} - \frac{\delta^6}{13(6!)} + \dots \right] \dots\dots\dots (64-11)$$

$$x = \ell \left[\frac{\delta}{3} - \frac{\delta^3}{7(3!)} + \frac{\delta^5}{9(4!)} - \frac{\delta^7}{11(5!)} + \frac{\delta^9}{13(6!)} - \dots \right] \dots\dots\dots (65-11)$$

$$\delta = \left(\frac{\ell}{L_n} \right)^2 \Theta \dots\dots\dots (66-11)$$



الشكل 31-11 تعيين إحداثيات (x, y) نقطة ما واقعة على المحقق التوليبي.

$$X_s = X - R \sin \Theta \dots\dots\dots(67 - 11)$$

$$OB = Y + R \cos \Theta, \quad OG = R$$

$$s = OB - OG$$

$$s = (Y + R \cos \Theta) \dots\dots\dots(68 - 11)$$

$$T_s = X_s + (R + S) \tan \frac{\Delta}{2} \dots\dots\dots(69 - 11)$$

$$(R + E_s) \cos \frac{\Delta}{2} = R + S$$

$$R \cos \frac{\Delta}{2} + E_s \cos \frac{\Delta}{2} = R + S$$

$$E_s = (R + S - R \cos \frac{\Delta}{2}) / \cos \frac{\Delta}{2}$$

$$E_s = \frac{(R + S)}{\cos \frac{\Delta}{2}} - R$$

$$E_s = (R + S) \left(\frac{1}{\cos \frac{\Delta}{2}} - 1 \right) + s \dots\dots\dots(70 - 11)$$

ملحوظة :

تطبيق للمعادلات السابقة (61-11 إلى 70-11) على المنحنى اللولبي الشائع الاستعمال في تطبيقات الطرق ، أما في حالات مشاريع خطوط السكك الحديدية فإنه يجري استعمال منحنى لولبي آخر يختلف اختلافاً طفيفاً عن المنحنى الموصوف وللشروح آنفاً .

توزيع المنحنى اللولبي في الطبيعة (Layout of a Spiral in the Field):

بافتراض أنه يراد توزيع المنحنى اللولبي من خلال تحديد مواقع مجموعة من النقاط على مسافات متساوية من بعضها (وهذا هو الشائع عملياً) وليكن عددها سيم، أي أنه لدينا سبعة أوتار متساوية يصل كل واحد منها بين نقطتين متتاليتين . يمكننا هنا توزيع النقطة 1 من المنحنى اللولبي بتحديد زاوية الانحراف عن التماس الخلفي α_1 والمسافة الوترية $L_{7/7}$ ، الشكل ٦،٦٦ وكذلك النقطة 2 تحدد من خلال الزاوية α_2 والمسافة $L_{7/7}$ مقبسة بدءاً من النقطة الأولى أو الوند الأول وهكذا بالنسبة لبقية النقاط ولغاية النقطة السابعة أو الوند السابع الذي هو بعينه النقطة SC . إن للمعادلة التي تعطي قيمة زاوية الانحراف عن التماس الخاصة بكل نقطة من النقاط للمظة للمنحنى اللولبي هي ، أنظر الشكل (32-11).

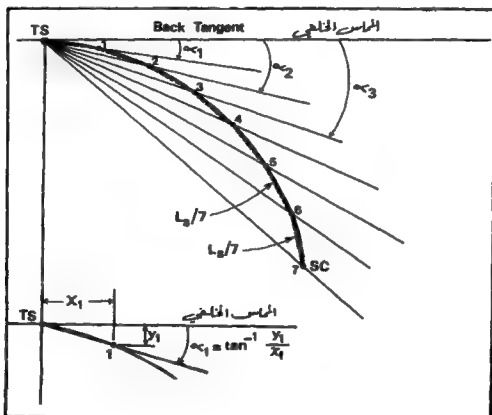
$$\alpha = \tan^{-1} \frac{y}{x} \dots\dots\dots(71 - 11)$$

حيث x, y يرمزان إلى المسافتين للمماسية والعمودية على التوالي للنقطة العينة من للنحنى كما مر معنا ويمكن حسابهما من خلال المعادلات الثلاث (11-64, 11-65, 11-66) .

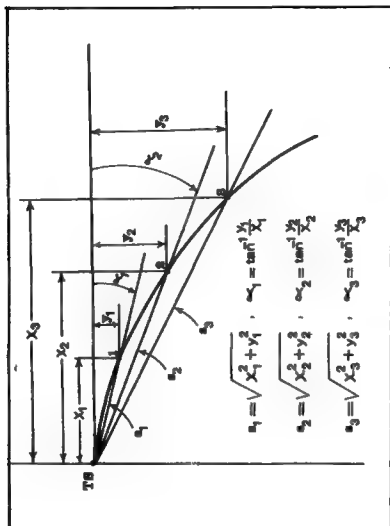
ملحوظة :

عند استخدام جهاز المحطة الشاملة (Total Station) في توقيس نقاط للنحنى اللولبي، فإن للمسافة الوترية التي تقاس هي تلك التي تصل بين نقطة التماس TS (موقع الجهاز) والنقطة للعينة من للنحنى . فإذا رمزنا لهذه المسافة بـ s فتكون عندها مساوية ، الشكل (11-33) .

$$s = \sqrt{x^2 + y^2} \dots\dots\dots (11-72)$$



الشكل 11-32 توقيس النحنى اللولبي بقياس زاوية الانحراف عن المماس لكل نقطة والمسافة الوترية التي تصل بين كل زوج من النقاط المتتالية والمعرفة بمسافة للمنحنى اللولبي



الشكل 33-11 توزيع المنحنى التوليقي باستخدام جهاز القطة الشاملة (Total Station)

مثال 1-11

أوجد مقدار نصف قطر منحنى دائري درجة انحنائه (30°) وذلك على أساس التعريف الوتري (100') و (30m) ، على التوالي:

الحل :

$$R = 50 / \sin(15^\circ) = 11459.19 \text{ ft}$$

$$R = 15 / \sin(15^\circ) = 3437.76 \text{ m}$$

مثال 2-11

نفس نص المثال (1-11) ولكن على أساس التعريف القوسي (100') و (30m) ، على التوالي .

الحل :

$$R = 5729.578 / (0.5^\circ) = 11459.156 \text{ ft}$$

$$R = 1718.873 / 0.5^\circ = 3437.746 \text{ m}$$

مثال 3-11 :

أوجد طول منحنى دائري زاوية إنحراف مماسية (A) تساوي 45° وذلك إذا كانت درجة انحنائه (40°) ووفق التعريفين القوسي والوتري بطول 30m ، على التوالي :

الحل :

$$L_{(1)} = 30m(45^\circ / 0.66666667^\circ) = 2025m$$

$$L_{(2)} = 30'(45^\circ / 0.66666667^\circ) = 2025m$$

أي لا فرق بينهما (وفق التعريفين القوسي والوتري) .

مثال 4-11 :

نفس نص المثال (3-11) ولكن على أساس الطول (100') بدلاً من (30m) .

الحل :

$$L_{(1)} = 100'(45^\circ / 0.66666667^\circ) = 6750m$$

$$L_{(2)} = 100'(45^\circ / 0.66666667^\circ) = 6750m$$

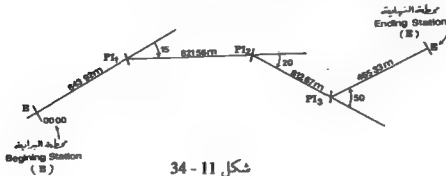
أي لا فرق بينهما .

مثال 11- 5 :

لحساب محطات النقاط الرئيسية (نقاط التقاطع وبدايات ونهايات للمنحنيات للتتالية Pi, PC, PT) من محور مشروع طريق معين مكون من أربعة عمامسات (Four Tangents) وثلاث نقاط تقاطع ($Three P1$) وبالطبع ثلاثة منحنيات رابطة لها ، الشكل (11-34)، للمعطيات التصميمية لزوايا التقاطع وللنحنيات هي كما هو مبين في الجدول التالي :

رقم المنحنى	زاوية التقاطع أو زاوية الانحراف Intersection or Deflection Angle	درجة المنحنى وفق التعريف القياسي (30m)
1	15°	4°
2	20°	3°
3	50°	2°

أما أطوال للمسافات الأفقية (الأجزاء للمستقيمة التي تربط بين زوايا التقاطع الثلاث) فهي 643.92m , 812.67m, 465.33m على التوالي .



شكل 11 - 34

الحل :

أولاً : حساب قيمة كل من نصف القطر (R) وطول المنحنى (L) وطول للمماس (T) لكل من المنحنيات الثلاثة .

المنحنى الأول :

أ - مقدار نصف القطر (R_1) :

$$R_1 = \frac{1718.87}{(D_s)_1} = \frac{1718.87}{4} = 429.72m$$

ب - طول المنحنى (L) (6-13) :

$$L_1 = \frac{R_1 \cdot \Delta_1}{180} = 112.50m$$

جـ - طول للمماس (T) :

$$T_1 = R_1 \cdot \tan \frac{\Delta_1}{2} = 56.57m$$

المنحنى الثاني :

بطريقة مشابهة نحسب T_2 , L_2 , R_2 وهي :

$$R_2 = \frac{1618.87}{(D_s)_2} = \frac{1718.87}{3} = 572.96m$$

$$L_2 = \frac{\pi \cdot R_2 \cdot \Delta_2}{180} = 200.00m$$

$$T_2 = R_2 \cdot \tan \frac{\Delta_2}{2} = 101.03m$$

المنحنى الثالث :

$$R_3 = \frac{1718.87}{(D_s)_3} = \frac{1718.87}{2} = 859.44m$$

$$L_3 = \frac{\pi \cdot R_3 \cdot \Delta_3}{180} = 750.00m$$

$$T_3 = R_3 \cdot \tan(\Delta_3 / 2) = 400.76m$$

وهذه القيم جميعها مرتبة في الجدول التالي :

رقم للمنحنى	نصف القطر R (m)	طول للمنحنى L (m)	طول للمماس T (m)
1	429.72	112.50	56.57
2	572.92	200.00	101.03
3	859.44	750.00	400.76

ثانياً : حساب محطات نقاط التماس والقطاع :

محطة البداية 00.00

طول الجزء للمستقيم الأول B-PI₁ + 643.92

محطة نقطة التقاطع الأول PI_1 643.92 Station (PI_1)

يطرح طول للمماس الأول T_1 - 56.57 - T_1

محطة نقطة التماس PC_1 587.35 Station (PC_1)

يضاف طول للنحن الأول (L_1) + 112.50 + L_1

محطة نقطة التماس PT_1 699.85 Station (PT_1)

يضاف طول للمستقيم الثاني مطروحاً + 821.56

منه طول للمماس للمنحنى الأول (T_1) - 56.57 - T_1

محطة نقطة التقاطع الثانية PI_2 1464.84 Station (PI_2)

يطرح طرح للمماس الثاني (T_2) - 101.03 - T_2

محطة نقطة التماس PC_2 1363.81 Station (PC_2)

يضاف طول للنحن الثاني (L_2) + 200.00 + L_2

محطة نقطة التماس PT_2 1563.81 Station (PT_2)

يضاف الطول ($PI_2 - PI_3$) + 812.67

يطرح طول للمماس للمنحنى الثاني - 101.03

محطة نقطة التقاطع PI_3 2275.45 Station (PI_3)

يطرح طول للمماس الثالث - 400.76 - T_3

محطة نقطة التماس (PC_3) 1874.69 Station (PC_3)

يضاف طول للنحن الثالث (L_3) + 750.00 + L_3

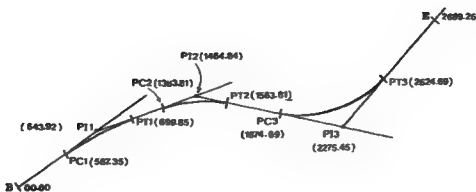
محطة نقطة التماس (PT_3) 2624.69 Station (PT_3)

يضاف الطول ($PI_3 - E$) + 465.33

يطرح طول للمماس للمنحنى الثالث - 400.76 - T_3

محطة نقطة الانتهاء (E) 2689.26 Station (E)

وهذه المحطات مبنية على الشكل (11-35) التالي :



شكل 35-11

ملحوظات :

- 1 - حيث أننا استعملنا درجة للنعني وفق التعريف القوسي (Arc Definition) أثناء حساب المحطات المختلفة، لذا فإن المحطات المحسوبة تمثل للمسافة الأفقية الفعلية من نقطة بداية للمشروع ووفق خط الوسط للمشروع (Centerline).
- 2 - لاحظ أن حساب المحطات وترقيمها قد تم عبر للحنين وليس عبر نقاط التقاطع.
- 3 - إن قياس زاوية الانحراف Δ تأتي كمرحلة لاحقة لمراحل تخطيط الطريق فإذا ما تم تخطيط المحور للقرح للطريق في الطبيعة أصبح من السهل قياس زوايا الانحراف لكل زوج من المستقيمت للتقاطعة للمشكلة لمحور هذا الطريق ، إذن لا مشكلة في قياس زاوية الانحراف مجد ذلكا بل للمشكلة إن وجدت فهي تنحصر في اختيار محور الطريق أي أجزائه للمستقيمة ومن ثم نقاط التقاطع (Points of Intersections (P.I).

مثال 11 - 6 :

معرفة عناصر للنحن الدائري التالية ، احسب جمع العناصر الأخرى للتبعية التي تلزم لتحديد موقع للنحن الدائري كاملاً بطريقة زواليا الانحراف (Deflection Angles).

$$\Delta = 19^\circ 57' 20'' \text{ R}$$

$$D_s = 1^\circ 50' (30\text{m}) \text{ بحالة التعريف القوسي وبطول}$$

$$\text{Chainage or Station of PI} = 1507.84\text{m}$$

الحل :

$$1 - \text{تعيين نصف القطر (R)}$$

$$R = 178.87/D_s = 937.57 \text{ m}$$

$$2 - \text{تعيين طول للمماس (T)}$$

$$T = R \cdot \tan \Delta/2 = 164.94 \text{ m}$$

$$3 - \text{تعيين للمسافة الخارجية (E)}$$

$$E = R \cdot \text{exsec } \Delta/2 = 14.40 \text{ m}$$

$$4 - \text{تعيين سهم القوس (M)}$$

$$M = R \cdot \text{vers } \Delta/2 = 14.18 \text{ m}$$

$$5 - \text{تعيين طول الوتر الطويل (LC)}$$

$$LC = 2R \cdot \sin \Delta/2 = 324.90 \text{ m}$$

$$6 - \text{تعيين طول للنحن الدائري (L)}$$

$$L = \pi \cdot R \cdot \Delta/180 = 326.55 \text{ m}$$

$$7 - \text{تعيين محطتي نقطتي التماس الأولى والثانية}$$

$$\text{Station of PC} = \text{Station of PI} - T$$

$$\text{Station of PC} = 1507.83 - 164.94 = 1342.89 \text{ m}$$

$$\text{Station of PT} = \text{Station of PC} + L$$

$$\text{Station of PT} = 1342.89 + 326.55 = 1669.44\text{m}$$

ويمكن ترتيب هذا على الشكل التالي :

$$\text{Station PI} = 1507.83 \text{ m}$$

$$- T = \underline{164.94}$$

$$\text{Station PC} = 1342.89 \text{ m}$$

$$+ L = \underline{326.55\text{m}}$$

$$\text{Station PT} = 1669.44 \text{ m}$$

8 - حساب أطوال الأقواس الجزئية :

حيث أن $R/20 = 46.88m$ ، لذا يمكن اختيار أطوال للأقواس الجزئية لا تتجاوز هذا الطول ولتكن $m \ 30$. وبما أن أول محطة على المنحنى الدائري من مضاعفات الـ $30m$ وتلي محطة نقطة التماس الأولى ($1342.89m$) هي $1350m$ ، لذا يكون طول القوس الجزئي الأول مساو : $1350 - 1342.89$: c_1 أما الأقواس الجزئية للوسطة فيبلغ طول كل منهما $c = 30m$. وأخيراً يكون طول القوس الجزئي الأخير (c_2) مساو للفرق بين محطة الـ PT وبين أقرب محطة إليها على المنحنى الدائري ومن مضاعفات الـ $30m$ ، أي $1650m$ وعليه يكون $1650 - 1669.44 = c_2 = 19.44m$. إذن يكون لدينا قوس جزئي أول (c_1) بطول 7.11 ، وعشرة أقواس جزئية وسطى طول كل منها $c = 30m$ ، وقوس جزئي أخير (c_2) بطول $19.44m$ ، وعليه تكون أطوال الأقواس الجزئية وعملية التحقق الحسابي على الشكل التالي :

$$\begin{aligned} c_1 &= 7.22 \text{ m}, \quad c = 30 \text{ m}, \quad c_2 = 19.44 \text{ m} \\ c_2 \times (1) + c \times (10) + c_1 \times (1) &= 7.11 \times (1) + 30 \times (10) + 19.44 \times (1) = 326.55m \\ \text{وهذا يتفق بالطبع مع الطول المحسوب للمنحنى الدائري.} \end{aligned}$$

9 - حساب زوايا الانحراف :

تُحسب زاوية الانحراف الجزئية (d_1) الخاصة بتعيين موقع النقطة الأولى (1) من المنحنى الدائري (d_1) على الشكل التالي :

$$\begin{aligned} d'_0 &= D \times c_0 \\ d'_1 &= D \times c_1 = 18333 \times 7.11 = 0^\circ 13' 21'' \end{aligned}$$

لاحظ أن المقدار 1.8333 يمثل درجة للمنحنى ($1^\circ 50'$) يمكن أيضاً استخراج زاوية الانحراف d_1 بالنسبة والتناسب على الشكل التالي :

حيث : $1^\circ 50'$ تمثل الزاوية المركزية للمقابلة لقوس دائري طوله $30m$ (التعريف القوسي)، الكسر $7.11/30$ يمثل نسبة طول القوس الجزئي الأول إلى طول القوس حسب التعريف القوسي وعلى أساس درجة المنحنى للمطابقة في المسألة ، وأخيراً المقدار $\frac{1}{2}$ هو نظراً لكون زاوية الانحراف المحصورة بين للمماس والوتر في منحنى دائري مساوية لنصف الزاوية المركزية للمقابلة للوتر أو القوس الجزئي الدائري ذي العلاقة .

أما زاوية الانحراف الجزئية (d) الخاصة بكل من النقاط الوسطى
(2,3,4,5,6,7,8,9,10,11) فتحسب أيضاً من نفس للمعادلة :

$$d = D \times c = 1.8333 \times 30 = 0^\circ 55'$$

أو :

$$d = 1/2 (30/30) (1^\circ 50') 0^\circ 55'$$

وأخيراً زاوية الانحراف الجزئية (d) الخاصة بالنقطة الأخيرة من للنحن الدائري (نقطة الـ PT) فتساوي :

$$d_2 = D \times c_2 = 1.8333 \times 19.44 = 0^\circ 35' 38.4''$$

$$d_2 = 1/2 (19.44/30)(1^\circ 50') = 0^\circ 35' 38.4''$$

10 - التحقق من زوايا الانحراف

إن مجموع زوايا الانحراف المحسوبة تتساوى نظرياً مع نصف زاوية الانحراف Δ .

فيما يتعلق بمجموع زوايا الانحراف فهو يساوي :

$$d_1 \times (1) + d \times (10) + d_2 \times (10) =$$

$$13' \times (1) + 55' \times (10) + (10) + 35.6' (1) = 9^\circ 58' 36''$$

أما نصف زاوية الانحراف فيساوي :

$$\frac{\Delta}{2} = \frac{19^\circ 57' 20''}{2} = 9^\circ 58' 40''$$

وكما هو واضح فإن الفرق لا يتعدى 4" وهو ناتج عن أعمال التقريب الحسابي
(Round - off- Error).

الشكل (11-36) يبين الوضع التقريبي الذي يجب أن يكون عليه للنحن الدائري في الطبيعة وقد كتبت بجانبه قيم العناصر الأساسية الداخلة في تصميمه ، أما الجدول (11-1) فيوضح قيم زوايا الانحراف الجزئية والكلية إضافة إلى قيم الأقواس والأوتار الجزئية وأرقام نقاط للنحن . لاحظ أن تزايد الخطأ أو التدرجات جاء في الجدول من الأسفل للأعلى كي ينسجم مع اتجاه تقدم العمل في تعيين للنحن .

ملحوظات :

- 1 - حسب أطوال الأوتار الجزئية الواردة في العمود الأسر الثاني من الجدول (1-11) بحسب للمعادلة (14-11) ، فعلى سبيل المثال ، طول الوتر الجزئي الأخير للمتد بين النقطة (11) ونقطة التماس PT يساوي :

$$35.6' = 19.42 \text{ m}$$

$$2R \sin d2 = 2(937.57) \sin$$

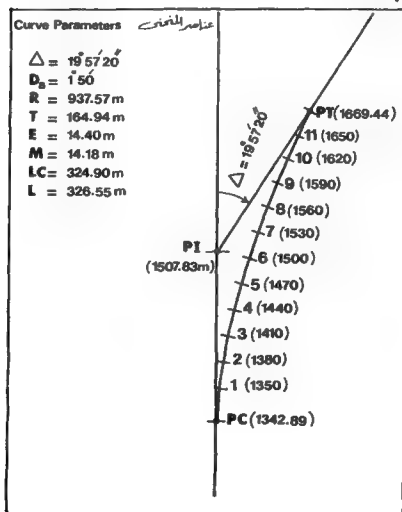
والواقع أن هذا الطول ينقص عن طول القوس بمقدار 0.02m ويعود سبب هذا النقصان إلى عاملين ، العامل الأول هو كون طول الوتر أصغر من طول قوسه بمقدار يصغر كلما زاد نصف القطر والعكس صحيح والعامل الثاني هو أن عمليات التقريب الحسابي في استنتاج قيم نصف القطر وزوايا الانحراف وغيرها تؤدي إلى بعض الفروقات . على كل حال إن هذا الفرق يُعد من وجهة النظر العملية مهملاً .

- 2 - للتدقيق على صحة العمليات الحسابية ، يجب أن تتساوى قيمة زاوية الانحراف الكلية التي تحدد نقطة التماس الثانية (PT) مع مقدار نصف زاوية انحراف للمماسين (Δ) وإذا كان هناك فرق فلا يجب أن يتعدى مقدار العد الأصغر (Least Count) لجهاز التيودوليت الذي سيستخدم في توقيع الزوايا . وبافتراض أن مقدار العد الأدنى لجهاز التيودوليت المستخدم هو 1' فلا بد أن تحسب زوايا بالزيادة أو بالنقصان وبالتالي لا يجب أن يزيد الفرق (بالزيادة أو بالنقصان) بين زاوية الانحراف الكلية لنقطة التماس (PT) وبين نصف زاوية انحراف للمماسين (Δ) عن 1' فقط . وكما هو واضح في العمود الأسر الأخير من الجدول (1-11) فإن قيمة زاوية الانحراف الكلية لنقطة PT هي وهي مقبولة عملياً .

- 3 - وردت قيمة زاوية انحراف للمماسين Δ في نص للتال على الشكل التالي :

ويعني الحرف R أن للماس الثاني (الأمامي) ينحرف $\Delta = 19^\circ 57' 20''$ R عن المماس الأول (الخلفي) جهة اليمين ولو ورد الحرف L بدلا من R لكان الانحراف جهة اليسار ، أنظر الشكل (11-36)

4 - تمثل أطوال الأوتار الولودة في العمود الأسر الثاني من الجدول رقم (11-1) للمسافات الوترية بين الأزواج للتتالية من نقاط المنحنى الدائري وحيث أن للمنحنى الدائري الوارد في هذا المثال ذا نصف قطر كبير نسبياً (Very Flat Curve) لذا فإن الفروق بين أطوال الأوتار الجزئية وأطوال الأقوال الجزئية للمقابلة لها صغيرة ومهملة .



شكل 11-36

الجدول رقم 1-11 طريقة ترتيب المعلومات في دفتر الحقل لعمليات
توقيع المنحنيات الأفقية الدائرية

Point No رقم النقطة	Chord Length طول الوتر (m)	Arc Length طول القوس (m)	Station المسافة (m)	Partial Deflection Angle زاوية الانحراف الجزئية	زاوية الانحراف الكلية بالقرب Total Deflection Angle to the Nearest 1'
PT	19.00	19.44	1669.44	35.6'	$9^{\circ} 58' 6'' = 0 = 9^{\circ} 58' 36''$ $= 9^{\circ} 59' = \frac{\Delta}{2}$ check
11	30.00	30.00	1630	55'	9° 23'
10	30.00	30.00	1620	55'	8° 28'
9	30.00	30.00	1590	55'	7° 33'
8	30.00	30.00	1560	55'	6° 38'
7	30.00	30.00	1530	55'	5° 43'
6	30.00	30.00	1500	55'	4° 48'
5	30.00	30.00	1470	55'	3° 53'
4	30.00	30.00	1440	55'	2° 58'
3	30.00	30.00	1410	55'	2° 03'
2	30.00	30.00	1380	55'	1° 08'
1	30.00	30.00	1350	13'	0° 13'
PC	7.08	7.11	1342.89	0'	0° 00'

مثال 7-11 :

صف الخطوات الرئيسية الواجب إتباعها في الميدان عند توقيع المنحنى الدائري الوارد في المثال (6-11) وفقاً لطريقة زوايا الانحراف (Deflection Angle) .
الحل :

يمكن إيجاز الخطوات الرئيسية الواجب إتباعها عند تخطيط المنحنى الدائري الوارد في المثال رقم (6-11) وفقاً لطريقة زوايا الانحراف على الشكل التالي :

1 - تحديد موقع كل من نقطة بداية المنحنى (نقطة التماس الأولى PC) ونقطة نهايته للمنحنى (نقطة التماس الثانية PT) على الأرض وذلك بغرس علامات مناسبة. يحدد موقع نقطة بداية المنحنى بالقياس بدءاً من أقرب وتد مثبت في الطبيعة على التماس الخلفي (Back Tangent) . على سبيل المثال ، في المثال رقم (6-11) كانت عطة نقطة التماس الأولى مساوية 1342.89m وعليه فإن المحطة أو التودد الأقرب لنقطة التماس الأولى هو 1320m لذلك نقيس بدءاً من هذا التودد مسافة أفقية مقدارها 22.89m (أي 1320 - 1342.89) للأمام وفي موازاة التماس الخلفي فيحدد موقع الـ PC . كذلك من الممكن تحديد موقع الـ PC بقياس مسافة أفقية بمقدار طول التماس بدءاً من نقطة تقاطع التماسين (PI) وفي موازاة التماس الخلفي (Along the Back Tangent) . أما بالنسبة لنقطة التماس الثانية، فيجري تحديدها على الطبيعة بقياس مسافة أفقية مقدارها طول التماس بدءاً من نقطة تقاطع التماسين (PI) باتجاه التماس الأمامي (Along the Forward Tangent) .

2 - تثبيت جهاز التيودوليت (جهاز قياس الزوايا) فوق نقطة التماس الأولى (PC) وضبط استقامته تماماً ثم التسديد من خلال للنظار باتجاه نقطة التقاطع (PI) وملاحظة أن تكون القراءة على دائرة الزوايا الأفقية في الجهاز مساوية $0^{\circ} 0' 0''$

3 - البدء بتحديد مواقع الأوتاد (Stakes) للمحلة للمنحنى الدائري ما بين نقطتي التماس الأولى والثانية . في المثال (6-11) ، لتحديد موقع التودد الأول يدور للنظار باتجاه تقدم العمل بمقدار زوايا الانحراف الخاصة بالنقطة الأولى من المنحنى

($0^{\circ} 13' 0''$). ثم تقاس مسافة أفقية بمقدار طول الوتر الأول الخاص بالنقطة الأولى من المنحنى، أي 7.09m وذلك وفق اتجاه خط النظر الحالي للمنظار فتكون نقطة نهاية هذه المسافة هي موقع الوتد الأول أو النقطة الأولى من المنحنى على الأرض . لتحديد موقع الوتد الثاني من المنحنى ، نتابع لف المنظار باتجاه تقدم العمل حتى نقرأ زاوية أفقية مقدارها $1^{\circ} 8' 0''$ وذلك بتلقي إشارة مناسبة من الراصد على الجهاز فيكون موقع نقطة تقاطع خط نظر الجهاز مع التدرج 30m من الشريط ممثلاً لموقع الوتد الثاني من المنحنى على الأرض .

نتابع العمل بنفس الأسلوب بالنسبة لبقية النقاط الوسطى من المنحنى وذلك بلف المنظار لجهاز التودوليت حتى يقرأ مقدار زاوية الانحراف الكلية المحددة في الجدول للعد مسبقاً وللمقابلة لكل نقطة من هذه النقاط ثم تقاس للمسافة الوترية المشتركة ومقدارها 30m بصورة مشابهة لما تم عمله عند تحديد الوتد الثاني إلى أن يتم تحديد مواقع كافة النقاط الوسطى. بالنسبة للنقطة الأخيرة أو الوتد الأخير من المنحنى تتحدد من خلال تقاطع خط النظر للجهاز وهو على القراءة $9^{\circ} 59'$. (المثلة لزاوية الانحراف الكلية الخاصة بالنقطة الأخيرة من المنحنى وهي نقطة التماس الثانية PT) مع التدرج 19.42m من الشريط للشدود بشكل مستقيم وللتثبت صفه على الوتد الأخير من الأوتاد الوسطى للمنحنى (الوتد الأخير من المنحنى على نقطة الـ PT مباشرة). من الطبيعي أن تنطبق هذه النقطة أو الوتد الأخير من المنحنى على نقطة الـ PT التي تم تحليدها سابقاً بالقياس المباشر بدءاً من نقطة التقاطع (PI) كما مر معنا آنفاً ، في حالة عدم الانطباق فإن مقدار الخطأ أو الإزاحة يعكس دقة الحسابات والعمل وهذا أمر نسي وقبوله أو رفضه يعتمد على نوع وطبيعة المشروع وبجمل الخطأ المسموح . على سبيل المثال، هناك فرق كبير من حيث الدقة المطلوبة في تعيين مواقع الأوتاد بين مشاريع خطوط السكك الحديدية لغايات النقل السريع وبين مشاريع الطرق للمناطق الريفية أو للمناطق التي تكون فيها كثافة السير منخفضة ، على كل حال ، لا توجد هناك معادلة محددة لتعيين مقدار الخطأ المسموح كما لا يوجد معيار قياسي

(Standard Criteria) للحكم على درجة الجودة في هذا الشأن أو ما يورر رفض

العمل أو قبوله .

ملحوظات :

1 - استندت الخطوات المذكورة أعلاه في توقيع للنحن الدائري على الطبيعة (تخطيطه على الأرض) إلى الاتجاه في تسلسل العمل من نقطة التماس الأولى PC إلى نقطة التماس الثانية PT ولكن يمكن إتباع هذه الخطوات نفسها إذا ما أريد عكس تسلسل العمل بحيث تنبديء من نقطة التماس الثانية وننتهي بنقطة التماس الأولى مع ملاحظة أن تزايد زوايا الانحراف سيكون باتجاه معاكس للسابق ، أي باتجاه نقطة الـ PC وليس باتجاه الـ PT .

2 - على الرغم من أن النظام الستيني (Sexagesimal System) في التعبير عن مقادير الزوايا لا زال معمولاً به في العديد من الدول وفي حقول مختلفة ، وبشكل خاص في حقول للمساحة وأعمال الرصد الفلكي ، إلا أن النظام اللغوي (Centesimal System) يجد أيضاً إقبالاً متزايداً وخاصة في أعمال للمساحة والجيوديسيا نظراً لما يحققه هذا النظام من سهولة في القياس والحساب . تقسم الدائرة في النظام الستيني إلى 360 جزءاً متساوياً يطلق عليه درجة (Degree or o) وكل قسم أو درجة هنا تعادل 60 ثانية ستينية (Second or ") أما في النظام اللغوي فإن زاوية الدائرة الكلية تقسم إلى 400 جزءاً متساوياً يطلق عليه غراد (Grad or g) وكل قسم أو غراض يعادل 100 دقيقة مئوية (Centesimal Minute or c) وكل دقيقة مئوية تعادل 100 ثانية مئوية (Centesimal Minute or cc) أي لأن $1^{\circ} = 100^c = 10000^{cc}$.

مثال 8 - 11 :

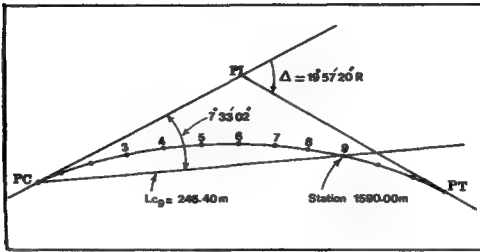
صف طريقة توقيع للنحن الدائري، الواردة عناصره في المثال (6-11)، باستعمال جهاز المحطة الشاملة أو للتكاملة (Total Station) .

1 - يجري تثبيت جهاز المحطة الشاملة فوق نقطة التماس الأولى PC ويتم ضبط أفقيته تماماً للبدء في عملية الرصد .

- 2 - يلف للنظار ليصبح خط النظر باتجاه نقطة التقاطع (PI) ، أي أن يخط النظر وللمماس الخلفي (Back Tangent) يتعان في مستوى رأسي واحد .
- 3 - أثناء ثبات خط نظر الجهاز باتجاه للمماس الخلفي ، يجري تصغير الدائرة الأفقية لجهاز قياس الزوايا (الثيودوليت) لتصبح قراءة الزاوية الأفقية $0^{\circ} 0' 0''$.
- 4 - لتحديد موقع النقطة الأولى من للنحن (الوئد الأول) على الأرض، يجري لف للنظار باتجاه تقدم العمل ومعدل زوايا الانحراف الخاصة بالنقطة الأولى وهي $0^{\circ} 13' 02''$ ثم يجري تحريك العاكس (Reflector) للثبث على حامل بشكل جيد ومناسب بنفس اتجاه خط النظر الحالي بحيث يقترب أو يعتمد عن محطة PC إلى أن تصبح قراءة للمسافة الأفقية على شاشة جهاز المحطة الشاملة مساوية لطول الوتر الكلي الخاص بالنقطة الأولى أو بالوئد الأول والمساوي في مثالنا الحالي 7.11m كذلك بالنسبة للنقطة الثانية أو الوئد الثاني تنابع لف للنظار باتجاه تقدم العمل حتى نقرأ للقدار المساوي لزاوية الانحراف الكلية للنقطة الثانية (أي $1^{\circ} 8' 2''$) ثم يجري تحريك العاكس نفسه باتجاه خط النظر الحالي للجهاز إلى أن تصبح قراءة للمسافة الأفقية على شاشة جهاز المحطة الشاملة مساوية لطول الوتر الكلي الخاص بالنقطة الثانية أو الوئد الثاني والمساوي هنا 37.11m . وكذلك الحال بالنسبة للنقطة التاسعة أو الوئد التاسع، لمزيد من التوضيح ، كي يتحدد موقعها لابد أن تكون قراءة الزاوية الأفقية $7^{\circ} 33' 02''$ وقراءة للمسافة الأفقية على شاشة الجهاز 246.40m ، الشكل (11-37) ، وهكذا دواليك بالنسبة لبقية نقاط للنحن .

ملحوظات :

- 1 - لحساب زوايا الانحراف لغايات توقيع للنحن باستخدام أجهزة المحطة الشاملة وحيث أن مقلد العد الأصغر لمثل هذه الأجهزة هي عادة بضع ثوانٍ أو حتى 1" ، فإن زاوية الانحراف الجزئية (d) الخاصة بالوئد الأول أو النقطة الأولى من للنحن تصبح مساوية :



الشكل 37-11 المثال رقم 8-11

$$d_1 = D_s \times c_1 = (1^\circ 50') (7.11) = 13' 02''$$

أو

$$d = \frac{1}{2} \left(\frac{7.11}{30} \right) (1^\circ 50') = 13' 02''$$

أما زوايا الانحراف الجزئية d الخاصة بالنقاط أو الأوتاد الوسطى (الوتر الثاني ولغاية
الوتر الحادي عشر (21 through 11) فتكون مساوية :

$$d = D_s \times c = (1^\circ 50') (30) = 55' 00''$$

أو

$$d = \frac{1}{2} \left(\frac{30}{30} \right) (1^\circ 50') = 55' 00''$$

وأخيراً فإن زاوية الانحراف الجزئية (d_2) الخاصة بالنقطة أو الوتد الأخير من المنحنى (نقطة التماس PT) تساوي :

$$d'_2 = D_2 \times c_2 = (1^\circ 50') (19.44) = 35' 38''$$

$$d' = \frac{1}{2} \left(\frac{19.44}{30} \right) (1^\circ 50') = 35' 38''$$

وعليه تكون زوايا الانحراف الكلية الخاصة بكل وتد أو نقطة من نقاط المنحنى كما هو مبين في العمود الخامس من الجدول رقم (2-11) لاحظ أن زاوية الانحراف الكلية الخاصة بالوتد الأخير (PT) من المنحنى تساوي $9^\circ 58' 40''$ وهذا المقدار يساوي نصف زاوية انحراف للمماسين ، أي :

$$\Delta / 2 = (19^\circ 57' 20'') / 2 = 9^\circ 58' 40''$$

2 - لحساب أطوال الأوتار لغايات تحديد المنحنى باستخدام أجهزة المحطة الشاملة فإنه يتم حساب طول الوتر بين نقطة التماس الأولى PC ، بافتراض أنها محطة تبييت الجهاز، وبين كل نقطة من نقاط المنحنى وذلك باستخدام العلاقة : $Lc = 2R \cdot \sin d_1$ حيث ترمز (Lc) إلى طول الوتر الكلي الخاص بالنقطة المعنية من المنحنى (R) ترمز إلى نصف قطر المنحنى ، في حين ترمز (d_1) إلى زاوية الانحراف الكلية الخاصة بنفس النقطة . على سبيل المثال يكون طول الوتر الكلي الخاص بالنقطة الأولى أو الوتد الأول مساوياً :

$$Lc_1 = 2R \sin d_1 = (937.57) \sin 0^\circ 13' 02'' = 7.11m$$

جدول 2-11 طريقة ترتيب المعلومات في دفتر الحقل لغايات توقيع المنحنيات الأفقية

الدائرية باستخدام أجهزة المخطات الشاملة (Total Station)

Point No. رقم المحطة	Chord Length (m) طول الوتر	Station (m) المحطة	Partial Deflection Angle زاوية الانحراف الجزئية	Total Deflection Angle to the Nearest 1° زاوية الانحراف الكلية
PT	324.90	1669.44	0° 35' 38"	09° 58' 40"
11	305.74	1650.00	0° 55' 00"	09° 23' 02"
10	276.10	1620.00	0° 55' 00"	08° 28' 02"
9	264.40	1590.00	0° 55' 00"	07° 33' 02"
8	216.62	1560.00	0° 55' 00"	06° 38' 02"
7	186.80	1530.00	0° 55' 00"	05° 43' 02"
6	156.93	1500.00	0° 55' 00"	04° 48' 02"
5	127.01	1470.00	0° 55' 00"	03° 53' 02"
4	97.07	1440.00	0° 55' 00"	02° 58' 02"
3	67.09	1410.00	0° 55' 00"	02° 03' 02"
2	37.11	1380.00	0° 55' 00"	01° 08' 02"
1	7.11	1350.00	0° 13' 02"	00° 13' 02"
PC	00.00	1342.00	0° 00' 00"	0° 00' 00"

ويكون طول الوتر الكلي الخاص بالنقطة التاسعة أو الوند التاسع ، لمزيد من
الوضوح ، مساوياً :

$$L_{\text{و}} = 2R \sin d_{\text{و}} = 2(937.57)(\sin 7^{\circ} 33' 02'') = 246.40\text{m}$$

3 - يمكن أيضاً حساب إحداثيات نقاط للنحن (حيث تشكل أركان مضلع يتدلىء
بالمماس الأيسر وينتهي بالمماس الأيمن) واستخدام جهاز المخططة الشاملة في توقيع
نقاط للنحن وقد جرى شرح للمضامات وتطبيقات جهاز المخططة الشاملة في
مضلعين مستقلين سابقين يمكن الرجوع إليهما عند الحاجة .

مثال 9-11:

يراد توقيع منحني دائري موصول بمنحنيين لوليين تماسهما متساويين (Equal-Tangent Spiraled Circular Curve) وفقاً للمعطيات التالية وباستخدام جهاز المحطة الشاملة (Total Station):

$\Delta = 20^\circ$: زوية التقاطع
 Station of PI = 510.62 m : محطة زوية التقاطع
 $D_s = 4^\circ$: درجة للمنحنى وفق التعريف القوسي
 $L_s = 100m$: طول المنحنى اللولي
 المطلوب :

- حساب الجاهيل X, Y, s, X_s, T_s and E_s (Parameters)
- حساب محطات النقاط الرئيسة -TS, SC, CS, and ST
- حساب زوايا الاغراف اللازمة لتوقيع للمنحنى اللولي .

الحل : (انظر الأشكال من 11-38 إلى 11-41):

أ - حساب زوية للمنحنى اللولي (الزوية للركنية للمنحنى اللولي) (Spiral Angle):

$$\Theta = \frac{L_s D_s}{60}$$

$$\Theta = \frac{100 \times 4}{60} = 6.666667^\circ = 0.116355 \text{ radian}$$

ب - حساب الإحداثيات X, Y :

$$X = 100 \left[1 - \frac{(0.116355)^2}{5(2!)} + \frac{(0.116355)^4}{9(4!)} - \dots \right] = 99.86m$$

$$Y = 100 \left[\frac{(0.116355)}{3} + \frac{(0.116355)^3}{7(3!)} + \frac{(0.116355)^5}{11(5!)} - \dots \right] = 3.80m$$

ج - حساب نصف قطر المنحنى الدائري (R):

$$R = \frac{1718.87}{D_s} = \frac{1718.87}{4} = 429.72 m$$

د . حساب (X_s) :

$$X_s = X - R \sin \Theta = 99.86 - 429.72 \sin 6.666667^\circ = 49.97 m$$

هـ - حساب الإزاحة (s) :

$$s = Y - R (1 - \cos \Theta) = 3.87 - 429.72 (1 - \cos 6.666667^\circ) = 0.96 \text{ m}$$

و - حساب طول للمماس الكلي (T_0) :

$$T_0 = X_0 + (R + S) \tan \Delta/2 = 49.97 + 429.72 + 0.96 \tan 10^\circ = 125.91 \text{ m}$$

ز - حساب (E_0) :

$$E_0 = (R + S) \left(\frac{1}{\cos \frac{\Delta}{2}} - 1 \right) + S$$

$$E_0 = (429.72 + 0.96) \left(\frac{1}{\cos 10^\circ} - 1 \right) + 0.96 = 7.60 \text{ m}$$

ح - حساب الزاوية المركزية للمقابل للمنحنى الدائري ($\Delta - 2\Theta$) :

$$(\Delta - 2\Theta) = 20^\circ - 2 (6.666667^\circ) = 6.666666^\circ$$

ط - طول للمنحنى الدائري (L) :

$$L = \frac{\pi R (\Delta - 2\Theta)}{180} = 50.00 \text{ m}$$

أو :

$$L = \frac{(\Delta - 2\Theta)}{D_s} (30) = \left(\frac{6.666666}{4} \right) (30) = 50.00 \text{ m}$$

ي - حساب محطات النقاط الرئيسية (TS, SC, CS, and ST) :

* محطة زاوية التقاطع
Station (PI) = 510.62 m

* محطة نقطة تماس للنحن اللولبي للقارب مع الجزء المستقيم الأول (للمماس الخلفي) :

$$\text{Station (TS)} = \text{Station (PI)} - T_0$$

$$\text{Station (TS)} = 510.62 - 125.91 = 384.71 \text{ m}$$

* محطة نقطة تقاطع للنحن اللولبي للقارب مع المنحنى الدائري :

$$\text{Station (SC)} = \text{Station (TS)} + L_s$$

$$\text{Station (SC)} = 384.71 + 100 = 484.71 \text{ m}$$

* محطة نقطة تقاطع للنحن الدائري مع المنحنى اللولبي للخار :

$$\text{Station (CS)} = \text{Station (SC)} + L$$

$$\text{Station (CS)} = 484.71 + 50 = 534.71 \text{ m}$$

* محطة نقطة تماس للنحن اللولبي للخار مع الجزء المستقيم الثاني (للمماس الأمامي) :

$$\text{Station (ST)} = \text{Station (CS)} + L_s$$

$$\text{Station (ST)} = 534.71 + 100 = 634.71 \text{ m}$$

ك - حساب زوايا الانحراف اللازمة لتوقيع للنحن اللولبي : دعنا نفترض أن توقيع للنحن اللولبي في الحفر سيتم من خلال تحديد مواقع عدد من النقاط تباعد عن بعضها بما لا يتجاوز 40 / ، أي $10.74 = 429.72/40$ فليكن التباعد بين النقاط عشرة أمتار ، أي :

$$\frac{L_g}{10} = \frac{100}{10} = 10 \text{ m}$$

وعليه :

$$\ell_1 = 10\text{m}, \ell_2 = 20\text{m}, \ell_3 = 30\text{m} \dots\dots\dots, \ell_{10} = 100\text{m}$$

$$\alpha_1 = \tan^{-1} \frac{y_1}{x_1}, \alpha_2 = \tan^{-1} \frac{y_2}{x_2} \dots\dots\dots, \alpha_{10} = \tan^{-1} \frac{y_{10}}{x_{10}}$$

حيث :

$$x_1 = \ell_1 \left[1 - \frac{\delta_1^2}{5(2!)} + \frac{\delta_1^4}{9(4!)} - \dots\dots\dots \right]$$

$$y_1 = \ell_1 \left[\frac{\delta_1}{3} - \frac{\delta_1^3}{7(3!)} + \frac{\delta_1^5}{11(5!)} - \dots\dots\dots \right]$$

وهكذا نستمر حتى x_{10}, y_{10} .

دعنا الآن نحسب قيم δ المختلفة :

$$\delta_1 = \left(\frac{\ell_1}{L_s}\right)^2 \Theta = \left(\frac{10}{100}\right)^2 (0.116355) = 0.001164 \text{ radian}$$

$$\delta_2 = \left(\frac{\ell_2}{L_s}\right)^2 \Theta = \left(\frac{20}{100}\right)^2 (0.116355) = 0.004654 \text{ radian}$$

$$\delta_3 = \left(\frac{\ell_3}{L_s}\right)^2 \Theta = \left(\frac{30}{100}\right)^2 (0.116355) = 0.010472 \text{ radian}$$

$$\delta_4 = 0.018617 \text{ rad.} \quad \delta_5 = 0.029089 \text{ rad}$$

$$\delta_6 = 0.041888 \text{ rad.} \quad \delta_7 = 0.057014 \text{ rad}$$

$$\delta_8 = 0.074467 \text{ rad} \quad \delta_9 = 0.094248 \text{ rad}$$

$$\delta_{10} = 0.116355 \text{ rad.}$$

وعليه فإن قيم الإحداثيات x,y لنقاط للنحن اللولبي العشر تكون على الشكل التالي :

$$x_1 = 10 \left[1 - \frac{(0.001164)^2}{5(2!)} + \dots \right] = 10 \text{ m}$$

$$y_1 = 10 \left[\frac{0.001164}{3} - \frac{(0.001164)^3}{7(3!)} + \dots \right] = 0.003878 \text{ m}$$

$$x_2 = 20 \left[1 - \frac{(0.004654)^2}{5(2!)} + \dots \right] = 20 \text{ m}$$

$$y_2 = 20 \left[\frac{0.004654}{3} - \frac{(0.004654)^3}{7(3!)} + \dots \right] = 0.031028 \text{ m}$$

$$x_3 = 30 \left[1 - \frac{(0.010472)^2}{5(2!)} + \dots \right] = 30.00 \text{ m}$$

$$y_3 = 30 \left[\frac{0.010472}{3} - \frac{(0.010472)^3}{7(3!)} + \dots \right] = 0.104719 \text{ m}$$

$$x_4 = 40 \left[1 - \frac{(0.018617)^2}{5(2!)} + \dots \right] = 40.00 \text{ m}$$

$$y_4 = 40 \left[\frac{0.018617}{3} - \frac{(0.018617)^3}{7(3!)} + \dots \right] = 0.24818 \text{ m}$$

$$x_5 = 50 \left[1 - \frac{(0.029089)^2}{5(2!)} + \dots \right] = 50.00 \text{ m}$$

$$y_3 = 50 \left[\frac{0.029089}{3} - \frac{(0.029089)^2}{7 (3!)} + \dots \right] = 0.484783 \text{ m}$$

$$x_6 = 60 \left[1 - \frac{(0.041888)^2}{5 (2!)} + \dots \right] = 59.99 \text{ m}$$

$$y_6 = 60 \left[\frac{0.041888}{3} - \frac{(0.041888)^2}{7 (3!)} + \dots \right] = 0.837651 \text{ m}$$

$$x_7 = 70 \left[1 - \frac{(0.057014)^2}{5 (2!)} + \dots \right] = 69.98 \text{ m}$$

$$y_7 = 70 \left[\frac{0.057014}{3} - \frac{(0.057014)^2}{7 (3!)} + \dots \right] = 1.330017 \text{ m}$$

$$x_8 = 80 \left[1 - \frac{(0.074467)^2}{5 (2!)} + \dots \right] = 79.96 \text{ m}$$

$$y_8 = 80 \left[\frac{0.074467}{3} - \frac{(0.074467)^2}{7 (3!)} + \dots \right] = 1.985005 \text{ m}$$

$$x_9 = 90 \left[1 - \frac{(0.094248)^2}{5 (2!)} + \dots \right] = 89.92 \text{ m}$$

$$y_9 = 90 \left[\frac{0.094248}{3} - \frac{(0.094248)^2}{7 (3!)} + \dots \right] = 2.825633 \text{ m}$$

$$x_{10} = 100 \left[1 - \frac{(0.116355)^2}{5 (2!)} + \dots \right] = 99.86 \text{ m}$$

$$y_{10} = 100 \left[\frac{0.116355}{3} - \frac{(0.116355)^2}{7 (3!)} + \dots \right] = 3.874749 \text{ m}$$

وبناء على القيم السابقة تكون قيم زوايا الانحراف لنقاط للحنن الأولى العشر على

الشكل التالي :-

$$\alpha_1 = \tan^{-1} \frac{y_1}{x_1} = \tan^{-1} \frac{0.0039}{10} = 00^\circ 01' 20''$$

$$\alpha_2 = \tan^{-1} \frac{y_2}{x_2} = \tan^{-1} \frac{0.03}{20} = 00^\circ 05' 20.00''$$

$$\alpha_3 = 00^\circ 11' 59.99''$$

$$\alpha_4 = 00^\circ 21' 19.95''$$

$$\alpha_5 = 00^\circ 33' 19.81''$$

$$\alpha_6 = 00^\circ 47' 59.92''$$

$$\alpha_7 = 01^\circ 05' 19.73''$$

$$\alpha_8 = 01^\circ 25' 19.47''$$

$$\alpha_9 = 01^\circ 47' 59.50''$$

$$\alpha_{BC} = \alpha_{10} = 02^\circ 13' 19.44''$$

أما أطوال الأوتار التي تصل بين نقطة التماس TS وبين كل من نقاط للتحقق اللولبي
المعشر فهي على الشكل التالي :

$$S_1 = \sqrt{x_1^2 + y_1^2} \quad , \quad s_1 = \sqrt{(10)^2 + (0.01)^2} = 10.00m$$

$$S_1 = \sqrt{x_2^2 + y_2^2} \quad , \quad s_2 = \sqrt{(20)^2 + (0.03)^2} = 20.00m$$

$$S_3 = \sqrt{(30)^2 + (0.10)^2} = 30.00 m$$

$$S_4 = \sqrt{(40)^2 + (0.25)^2} = 40.00 m$$

$$S_5 = \sqrt{(50)^2 + (0.48)^2} = 50.00 m$$

$$S_6 = \sqrt{(59.99)^2 + (0.84)^2} = 60.00 m$$

$$S_7 = \sqrt{(69.98)^2 + (1.33)^2} = 69.99 m$$

$$S_8 = \sqrt{(79.96)^2 + (1.99)^2} = 79.89 m$$

$$S_9 = \sqrt{(89.92)^2 + (2.83)^2} = 89.69 m$$

$$S_{10} = S_{BC} = \sqrt{(99.86)^2 + (3.87)^2} = 99.93 m$$

- تعيين عناصر المنحنى الدائري :

سبق أن حسبنا قيمة نصف القطر (R) للمنحنى الدائري وكانت مساوية

لـ R:429.72m، كذلك كانت قيمة طول للمنحنى الدائري (L) مساوية : L=50.00m، أما

محطة نقطة تماس للنحنى اللولبي للمقارب (Approach Spiral) مع للنحنى الدائري (أي)
 SC) فكانت مساوية : $Station\ SC = 484.71m$.

لحساب زوايا الانحراف لمجموعة من النقاط على للنحنى الدائري وعلى أساس
 ،

فلا بد أولاً من حساب أطوال الأقواس الجزئية الخاصة بهذه النقاط وذلك يكون على
 الشكل التالي :

حيث أن $R/20 = 429.72/20 = 21.49m$ ، لذا يمكن اختيار أطوال للأقواس الجزئية
 لاتتجاوز هذا الطول وتكن $20\ m$. وبما أن أول محطة على للنحنى الدائري من
 مضاعفات الـ $20m$ وتلي محطة الـ SC (أي : $484.71m$) هي $500m$ لذا يكون طول
 القوس الجزئي الأول مساوياً : $c_1 = 500 - 484.71 = 15.29\ m$

أما الأقواس الجزئية فيبلغ طول كل منها : $c = 20m$

وأخيراً يكون طول القوس الجزئي الأخير (c_2) مساوياً للفرق بين محطة الـ CS وأقرب
 محطة لها على للنحنى الدائري ومن مضاعفات الـ $20m$ ، أي :

$$534.71 - 250 = 14.71\ m$$

$$c_2 = 50 - (15.29) - 1(20) = 14.71\ m$$

أو :

وعليه يكون لدينا قوس جزئي أول (c_1) بطول $15.29m$ وقوس جزئي أوسط واحد بطول
 $c = 20m$ وقوس جزئي أخير بطول $14.71m$. ولذا يمكن حساب زوايا الانحراف
 الجزئية على الشكل التالي :

زاوية الانحراف الجزئية الأولى (d_1) :

$$d_1 = D_s \times c_1 = 4^\circ \times 15.29 = 01^\circ\ 01'\ 10''$$

أو :

$$d_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{15.29}{30} \right) (4^\circ) = 01^\circ\ 01'\ 10''$$

$$d = 20 \times 4^\circ = 01^\circ\ 20'\ 00''$$

زاوية الانحراف الجزئية الوسطى :

$$d_2 = 14.71 \times 4^\circ = 00^\circ\ 58'\ 50''$$

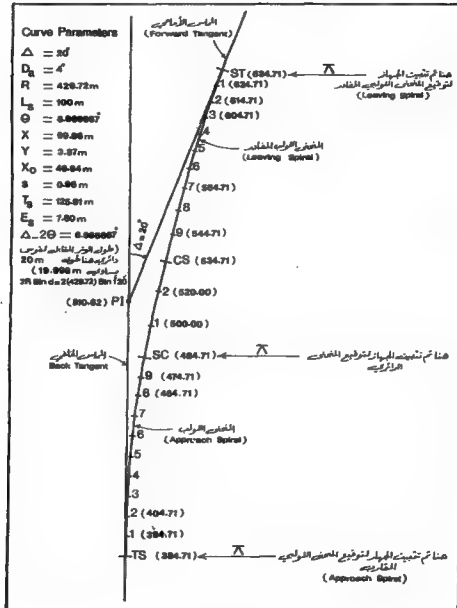
زاوية الانحراف الجزئية الأخيرة :

أي :

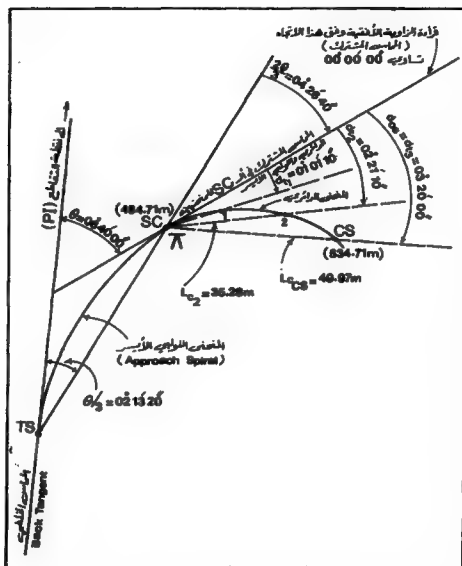
$$d_1 = d_1 = 01^\circ 01' 10''$$

$$d_{1_1} = d_{1_1} + d = 01^\circ 01' 10'' + 01^\circ 20' 00'' = 02^\circ 21' 10''$$

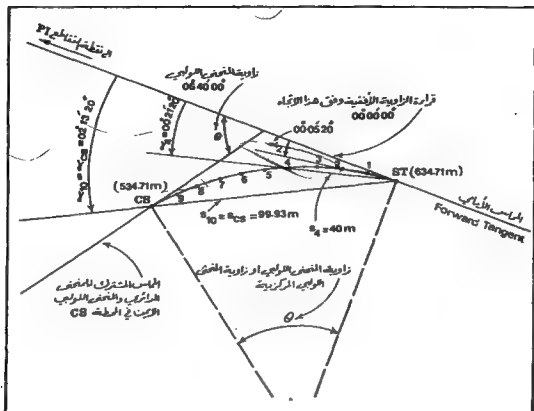
$$d_{1_2} = d_{1_1} + d_2 = 02^\circ 21' 10'' + 00^\circ 58' 50'' = 03^\circ 20' 00''$$



شكل 11 - 38



شكل 11-9 طريقة توقيع المنحنى اللولبي الأيمن (المختار الموائج الأيمن) (Leaving Spiral)



شكل 11-41 طريقة توقيع المنحنى الدائري

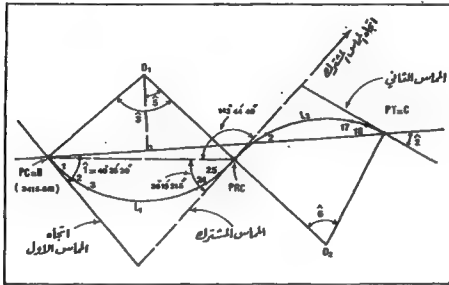
مثال 11-10

نقطتان B, C واقعتان على جزئين مستقيمين من طريق مقترح ويراد وصلهما بمنحنى عكسي لاحظ الشكل (11-42) فإذا كانت زاوية انحراف الاستقامة الثانية عن الاستقامة الأولى تساوي $40^{\circ} 35' 20''$ وزاوية انحراف الاستقامة الثالثة عن الثانية وطول الضلع BC يساوي 80m ومطة النقطة B (نقطة التماس الأولى PC) هي 3415.6 m وللطلب :

أ - حساب نصف القطر (R) لجزئي للمنحنى العكسي .

ب - حساب الزاويتين للركبتين 3,6 لجزئي للمنحنى العكسي .

- ج - حساب محطة نقطة التماس المشتركة PRC (أو نقطة للنحن العكسي) .
 د - حساب محطة نقطة التماس الثانية PT أي محطة النقطة C .
 هـ - بين بإيجاز طريقة توقيع جزئي للنحن العكسي في الحقل .



شكل 11 - 42

الحل :

أ - نصف القطر (R) :

$$\cos \hat{3} = \frac{1}{2} (\cos \hat{1} + \cos \hat{2})$$

$$\cos \hat{3} = \frac{1}{2} (\cos 40^\circ 35' 20'' + \cos 20^\circ 15' 42'') = 0.848759$$

$$\hat{3} = 31^\circ 55' 23''$$

$$R = \frac{BC}{\sin \hat{1} \sin \hat{2} + 2 \sin \hat{3}}$$

$$R = \frac{80 \text{ m}}{0.6506 + 0.34631 + 1.05756} = 38.939 \text{ m}$$

ب - الزاويتان المركبتان (3,6) :

$$\hat{3} = \hat{1} + \hat{5} = 40^\circ 35' 20'' + 31^\circ 55' 23'' \quad \text{لدينا}$$

$$\hat{3} = 72^\circ 30' 43''$$

$$\hat{6} \hat{2} + \hat{5} = 20^\circ 15' 42'' + 31^\circ 55' 23'' = 52^\circ 11' 05''$$

جـ - محطة نقطة التماس الثانية (PRC) :

لدينا طول الجزء للنحن الأيسر من للنحن العكسي L_1 يساوي :

$$L_1 = \frac{\pi R \hat{3}}{180^\circ} = \frac{3.1416 \times 38.94 \times 72^\circ 30' 43''}{180^\circ}$$

وعليه :

$$L_1 = 49.280 \text{ m}$$

$$\text{Chainage of PRC} = \text{Chainage of B} + L_1$$

$$\text{Chainage of PRC} = 3415.60 + 49.88 \text{ m} = 3464.88 \text{ m}$$

د - محطة نقطة التماس الثانية (PT أو C) :

لدينا :

$$L_2 = \frac{\pi R \hat{6}}{180^\circ} = \frac{3.1416 \times 38.94 \times 52^\circ 11' 5''}{180^\circ}$$

$$L_2 = 35.466 \text{ m}$$

وعليه :

$$\text{Chainage of PT or C} = \text{Chainage of PRC} + L_2$$

$$\text{Chainage of PT or C} = 3464.88 \text{ m} + 35.466 \text{ m} = 3500.346$$

هـ - طريقة توقيع جزئي للنحن العكسي :

دعنا أولاً نحسب أطوال الأقواس الجزئية وزوايا الانحراف الجزئية لنقاط من الجزء

الأيسر من للنحن العكسي .

$$L_1 = 49.28 \text{ m}$$

لدينا:

$$R = 38.939 \text{ m} \rightarrow R / 20 \approx 2 \text{ m}$$

إذن نختار طول القوس الجزئي الأول c_1 بحيث يكمل محطة التماس الأولى على رقم مدور

ومناسب وليكن 3416 m وبالتالي يكون لدينا :

$$c_1 = 3416 - 3415.60 = 0.4 \text{ m}$$

أما الأقواس الجزئية الوسطى وعددها 24 فأطولها متساوية وتساوي c : - $c = 2 \text{ m}$

والقوس الجزئي الأخير وطوله c_2 يساوي :

$$c_2 = L_1 - c_1 - nc = 49.28 - 0.4 - 24 \times 2$$

$$c_2 = 0.88 \text{ m}$$

أما زوايا الانحراف الجزئية فتحسب من العلاقة :

$$\delta = (1718.873 \times \frac{c}{R})'$$

فبالنسبة لزاوية الانحراف الجزئية الأولى فتساوي :

$$\delta_1 = 1718.873 \times \frac{0.4}{38.939} = (17.65708)' = 0^\circ 17' 39''$$

وبالنسبة لزوايا الانحراف الجزئية الوسطى فتساوي :

$$\delta_2 = \delta_3 = \dots \delta_{25} = 1718.873 \times \frac{2}{38.939} = (88.28542)' = 1^\circ 28' 17''$$

وأخيراً زاوية الانحراف الجزئية للنقطة الأخيرة تساوي :

$$\delta_{26} = 1718.873 \times \frac{0.88}{38.939} = (38.84559)' = 0^\circ 38' 51''$$

ولتحقيق صحة زوايا الانحراف الجزئية نكتب :

$$\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \dots + \delta_{25} + \delta_{26} = (17.65708)' + 24(88.28542)' + 38.84559'$$

$$\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \dots + \delta_{25} + \delta_{26} = 36^\circ 15' 21''$$

وهذه القيمة تساوي تقريباً نصف الزاوية المركزية للجزء للنحنى الأيسر وبالعكس

حيث : $72^\circ 30' 43''$

$$\frac{3}{2} = \frac{72^\circ 30' 43''}{2} = 36^\circ 15' 21.5''$$

والخطأ ($0.5''$) يعود إلى عمليات التقريب الحسابي .

أما بالنسبة للجزء للنحنى الأيمن فلدينا :

$$\frac{R}{2} = \frac{38.939 \text{ m}}{2} \rightarrow R/20 \approx 2 \text{ m}$$

نختار أيضاً طول القوس الجزئي الأول c'_1 بحيث يكمل عملة نقطة التماس للـ PRC المشترك

على رقم مدور ومناسب بحيث أن عملة نقطة التماس للـ PRC وحدها متساوية

إذن دعنا نختار طولاً للقوس الجزئي c'_1 من للنحنى الأيمن مساو لـ :

$$c_1 = 3466 - 3464.88 = 1.12 \text{ m}$$

أما الأقواس الجزئية الوسطية c' فأطولها متساوية ومقدار كل منها 2 m وعددها 17 أي

$$\text{أن } c' = 2 \text{ m}$$

وبالنسبة للقوس الجزئي الأخير c'_2 فتساوي :

$$c'_2 = L_2 - c'_1 - nc' = 35.466 \text{ m} - 1.12 \text{ m} - 17(2 \text{ m})$$

$$c'_2 = 0.346 \text{ m}$$

أما زوايا الانحراف الجزئية فتحسب أيضاً من العلاقة :

$$\delta' = (1718.873 \times \frac{c}{R})'$$

وعليه زاوية الانحراف الجزئية الأولى δ'_1 تساوي :

$$\delta'_1 = 1718.873 \times \frac{1.12}{38.94} = (49.43984)' = 0^\circ \ 49' \ 26.39''$$

وزوايا الانحراف الجزئية الوسطية δ' تساوي :

$$\delta' = 1718.873 \times \frac{2}{38.939} = (88.28542)' = 1^\circ \ 28' \ 17.13''$$

وأخيراً زاوية الانحراف الجزئية الأخيرة δ'_2 تساوي :

$$\delta'_2 = 1718.873 \times \frac{0.346}{38.939} = (15.27338)' = 0^\circ \ 15' \ 16.40''$$

ولتحقيق صحة زوايا الانحراف الجزئية نكتب :

$$\delta'_1 + \delta'_2 + \delta'_3 + \dots + \delta'_{18} + \delta'_{19} = (49.43984)' + 17(88.28542)' + (15.27338)'$$

$$\delta'_1 + \delta'_2 + \delta'_3 + \dots + \delta'_{18} + \delta'_{19} = 26^\circ \ 05' \ 33.92''$$

وهذه القيمة تساوي تقريباً نصف الزاوية المركزية 6 للجزء للنحنى الأيمن والبالغة :

$$52^\circ \ 11' \ 05'' \text{ حيث :}$$

$$\delta/2 = \frac{52^\circ \ 11' \ 5''}{2} = 26^\circ \ 5' \ 32.5''$$

والفرق بين القيمتين يساوي $1.42''$ وهو أيضاً ناتج عن أعمال التقريب الحسابية ويمكن

إهماله .

لتوزيع مختلف نقاط للنحنى العكسي في الحقل نقوم بالخطوات العلمية التالية :

1 - نثبت جهاز الثيودوليت في نقطة التماس الأولى B ثم بعد مركزه وضبط أفقيته

نصفر الزوايا الأفقية باتجاه للتماس الأول ونلسف للنظر عكس اتجاه دوران عقارب

الساعة بزاوية أخفية مقدارها $\delta = 17.65708$ ونضع الشريط عند النقطة B

ونغده بشكل أفقي وفق خط النظر الحالي لجهاز الثيودوليت ونفرس وتبدأ عند

التدريج 0.4 m فيكون الوند بمثابة النقطة 1 من للنحنى ثم نتابع لف للنظر باتجاه

معاكس للدوران عقارب الساعة حتى نقرأ على الدائرة الأفقية القيمة .

$$\delta_1 + \delta_2 = (17.65708)' + (88.28542)'$$

$$\delta_1 + \delta_2 = (105.94250) = 1^\circ \ 45' \ 57''$$

أي في حالة جهاز ثيودوليت يقرأ إلى أقرب 20" فتكون عندما القراءة: $1^{\circ} 46' 00''$
أو نقرأ على الدائرة الأفقية : $385^{\circ} 14' 03'' = 360^{\circ} - 1^{\circ} 45' 57''$
وبالمثل في حالة جهاز ثيودوليت يقرأ إلى أقرب 20" تكون عندما القراءة :
 $358^{\circ} 14' 00''$ الآن نضع صفر الشريط عند النقطة 1 التي تم توقيعها على الأرض
ونعد الشريط أفقياً ثم نمسك بوترد عند التدرج للمعادل 2m ونحرك الشريط
يميناً ويساراً إلى أن يتقاطع مع خط النظر عند التدرج 2 m فنفرس الوترد في الأرض
ليكون بمثابة النقطة 2 من للنحنى العكسي وهكذا دواليك بالنسبة لجميع النقاط
الوسطى كما مر معنا في بحث المنحنيات الدائرية البسيطة والمركبة ، أما بالنسبة
لتوقيع النقطة الأخيرة من الجزء الأيسر من للنحنى العكسي أي لتوقيع نقطة التماس
للمشترك PRC فإننا نتابع لف للنظار باتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة حتى
تصبح قراءة الدائرة الأفقية مساوية:

$$\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 \dots + \delta_{25} + \delta_{26} = 36^{\circ} 15' 20''$$

أو :

$$360^{\circ} - 36^{\circ} 15' 20'' = 323^{\circ} 44' 40''$$

ثم نمسك بصفر الشريط عند النقطة 25 والتي من المفروض أن يكون قد تم توقيعها
ثم نشد الشريط بشكل أفقي ونمسك بوترد عند التدرج 0.88 m ونحرك الشريط
يميناً أو يساراً حتى يتقاطع الشريط مع خط النظر عند التدرج 0.88 m عندها
نفرس الوترد في الأرض وبشكل رأسي ليكون بمثابة النقطة الأخيرة من الجزء الأيسر
من للنحنى العكسي أو نقطة التماس المشتركة PRC، انظر الجدول رقم (3-11) .

2 - الآن وبعد أن تحددت نقطة التماس للمشتركة ننقل جهاز الثيودوليت إلى النقطة
PRC وبعد تمريره وضبطه أفقيته نوجه للنظار باتجاه نقطة التماس الأولى (B) ثم
نصفر الزوايا الأفقية ونلف للنظار باتجاه دوران عقارب الساعة بمقدار
 $36^{\circ} 15' 21.5'' - 180^{\circ}$ وتساوي $143^{\circ} 44' 39.5''$ فيصبح خط النظر باتجاه
التماس المشترك ثم نصفر الزوايا الأفقية من جديد بينما لا يزال خط النظر للجهاز
باتجاه التماس المشترك ثم نبدأ بتوقيع نقاط الجزء الأيمن من للنحنى العكسي مماساً

بنفس الأسلوب المتبع في توقيع نقاط للمنحنى الأيسر، فعلى سبيل المثال لتوقيع النقطة 1' من هذا الجزء الأيمن نلف للنظار بمقدار الزاوية $\delta'_1 = (49.43984)^\circ$ ثم نضع صفر الشريط عند نقطة التماس للمشرقة نشد الشريط أفقياً وفق خط النظر ونفرس وبشكل رأسي في الأرض وتبدأ عند التدرج 1.12 m فيكون بمثابة النقطة الأولى 1 من الجزء الأيمن للمنحنى العكسي ثم تابع لف للنظار حتى يقرأ للمقدار :

$$\delta'_1 + \delta'_2 = (49.43984)^\circ + (88.28542)^\circ = 2^\circ 17' 43.52''$$

وعملياً تقرأ $2^\circ 17' 40''$ (إذا كان الجهاز يقرأ إلى أقرب $10''$ أو $20''$) ثم نضع صفر الشريط عند النقطة 1 ونغط الشريط أفقياً ونضع وتبدأ عند التدرج 2m وعندها نفرس الودد وبشكل رأسي في الأرض ليكون بمثابة النقطة 2' من الجزء الأيمن للمنحنى العكسي وهكذا وبنفس الأسلوب أي في كل مرة نلف للنظار بقيمة إضافية مقدارها $\delta'_2 = (88.28542)$ ونضع صفر الشريط عند آخر نقطة تم توقيعها على الأرض ونعد الشريط بشكل أفقي ونحركه يميناً ويساراً حتى يتقاطع مع خط النظر عند التدرج 2 m وعندها نفرس وتبدأ جديداً في الأرض وهلم جرا حتى إذا ما أردنا توقيع آخر نقطة من للمنحنى العكسي ألا وهي نقطة التماس الثانية PT أو النقطة C وجب أن تكون قراءة الدائرة الأتية مساوية :

$$\delta'_1 + \delta'_2 + \delta'_3 + \dots + \delta'_n + \delta'_{n+1} + \delta'_{n+2} = 26^\circ 05' 33.92''$$

وعندها نضع صفر الشريط عند النقطة 18 ثم نعد الشريط أفقياً ونحركه يميناً ويساراً حتى يتقاطع مع خط النظر عند التدرج 0.346m وعندها نفرس وتبدأ في الأرض وبشكل رأسي عند نقطة التقاطع هذه لتكون بمثابة نقطة التماس الثانية PT أو النقطة C . الجدول رقم (3-11) اللاحق بين كافة المعلومات اللازمة لتوقيع الجزء للمنحنى الأيسر والجدول رقم (4-11) بين المعلومات الخاصة بتوقيع الجزء للمنحنى الأيمن .

ملحوظة :

يمكن توقيع الجزء الأيمن من المنحنى العكسي بطريقة أخرى وهي أن ننقل الجسهاز بعد تثبيت الجزء الأيسر إلى نقطة التماس الثانية PT (أو النقطة C) والمعدة أصلاً ثم منها نوقع هذا الجزء بالطرق المعتادة والتي سبق شرحها أي نوجه للمنظار باتجاه التماس الثاني والاستقامة الثالثة ونصفر الزوايا الأفقية ويكون بعدها الملف باتجاه معاكس للدوران عقارب الساعة وبتابع الأساليب للشروحة سابقاً .

جدول 11 - 3

النقطة Point No	الوتر Chord (m)	المسلة Chainage (m)	زوايا الانحراف الجزئية Deflection Angles	زوايا الانحراف الكلية Deflection Angles Total			الزاوية المقرونة على ثيودوليت بزاوية 20" 20" Angle Set on 20" Theodolite		
				°	'	"	°	'	"
PC= B	0	3415.6	0	0	0	0	0	0	0
1	0.4	3416.0	17.65708	0	17	39.42	0	17	40
2	2	3418.0	88.28542	1	45	56.54	1	46	0
3	2	3420.0	88.28542	3	14	13.66	3	14	20
4	2	3422.0	88.28542	4	42	30.72	4	42	40
5	2	3424.0	88.28542	6	10	47.90	6	10	0
6	2	3426.0	88.28542	7	39	04.02	7	39	20
7	2	3428.0	88.28542	9	7	21.14	9	7	40
8	2	3430.0	88.28542	10	35	38.26	10	35	0
9	2	3432.0	88.28542	12	3	55.38	12	4	20
10	2	3424.0	88.28542	13	32	12.50	13	32	40
11	2	3436.0	88.28542	15	0	29.62	15	0	40
12	2	3438.0	88.28542	16	28	46.74	16	28	0
13	2	3440.0	88.28542	17	57	03.86	17	57	20
14	2	3442.0	88.28542	19	25	20.98	19	25	40
15	2	3444.0	88.28542	20	53	37.10	20	53	0
16	2	3446.0	88.28542	22	21	45.22	22	22	40
17	2	3448.0	88.28542	23	50	11.34	23	50	40
18	2	3450.0	88.28542	25	18	28.46	25	18	40
19	2	3452.0	88.28542	26	46	45.58	26	46	0
20	2	3454.0	88.28542	28	15	02.70	28	15	40
21	2	3456.0	88.28542	29	43	19.82	29	43	40
22	2	3458.0	88.28542	31	11	36.94	31	11	0
23	2	3460.0	88.28542	32	39	54.06	32	40	20
24	2	3462.0	88.28542	34	8	11.18	34	8	40
25	2	3464.0	88.28542	35	36	28.30	35	36	20
PRC	0.88	3446.88	88.84559	39	15	19.04	36	15	20

حلول 11 - 4

النقطة Point No	الوتر Chord (m)	المسافة Chainage (m)	زوايا الانحراف المبرية Deflection Angles	زوايا الانحراف الكلية Deflection Angles Total			الزاوية المقرونة على ثيودوليت بقراً لأقرب 20" Angle Set on 20" Theodolite		
				o	i	"	o	i	"
PC-B	0	3464.88	0	0	0	0	0	0	0
1	1.2	3466.00	49.41984	0	47	26.39	0	49	20
2	1	3468.88	88.28542	2	17	43.52	2	17	40
3	2	3470.00	88.28542	3	49	0.65	3	46	0
4	2	3472.00	88.28542	5	14	17.78	5	14	20
5	2	3474.00	88.28542	6	42	34.91	6	42	40
6	2	3476.00	88.28542	7	10	51.04	8	11	0
7	2	3478.00	88.28542	8	39	17	9	39	0
8	2	3480.00	88.28542	9	7	26.30	11	7	20
9	2	3482.00	88.28542	11	35	43.43	12	35	40
10	2	3484.00	88.28542	12	4	00.56	14	4	0
11	2	3486.00	88.28542	14	32	17.69	15	32	20
12	2	3488.00	88.28542	15	0	34.82	17	0	40
13	2	3490.00	88.28542	17	28	51.95	18	29	0
14	2	3492.00	88.28542	19	57	8.08	19	57	0
15	2	3494.00	88.28542	21	25	25.21	21	25	20
16	2	3496.00	88.28542	22	53	42.34	22	53	40
17	1	3498.00	88.28542	24	22	00.47	24	22	0
18	2	3500.00	88.28542	25	50	17.60	25	50	20
C	0.346	3500.346	15.27338	26	5	33.73	26	5	40

مسائل

1-11 لماذا نحتاج إلى المنحنيات الأفقية وبالتالي تغيير مسار الطريق من وحيد الاتجاه إلى متعدد الاتجاهات .

2-11 ما هي الاعتبارات الأساسية (أهمها) التي يجب أخذها بعين الاعتبار عند اختيار محور الطريق (تحديد أجزائه للمستقيمة ومن ثم نقاط التقاطع (Points of Intersections) ؟

3-11 ما هي القاعدة الأساسية التي يمكن (بشكل عام) اتباعها لتجنب التكاليف الباهظة الناجمة عن زيادة حجم الأعمال الترابية ؟

4-11 ما الذي تنصح به بشأن خصائص منحنيات الوصل الأفقية في مشاريع الطرق الرئيسية ؟

5-11 هل تتساوى ، بشكل عام، أنصاف الأفطار المستخدمة في الطرق مع تلك المستخدمة في مشاريع خطوط السكك الحديدية ؟ ولماذا ؟

6-11 ما هي الغاية الأساسية من استخدام مختلف للمنحنيات للتردرجة ؟

7-11 لديك للعلومات التالية :

رقم المنحنى	نصف القطر (m)	زاوية الانحراف أو التقاطع (Δ) ° ' "	محطة أو تدرج نقطة التقاطع Chainage of (PI) (m)
1	225	70 12 48	1516.28
2	275	65 10 17	2618.66
3	325	58 18 46	3919.23

للمطلوب إيجاد تدرج أو محطة كل من نقطتي التماس الأولى والثانية لكل مسن للمنحنيات الثلاثة علماً بأن التدرج المعطى لمعطى محطات التقاطع (PIs) يعبر عن قياس للمسافات التراكمية دون إدخال للمنحنيات (مرحلة ما قبل تصميم للمنحنيات).

8-11 نفس المطلوب في المسألة (7-11) ونفس المعطيات ولكن على أساس القيم التالية لدرجات للمنحنيات الثلاثة ووفق التعريف القوسي (30m) :

للنحني رقم (1) : $7^{\circ} 38' 22''$

للنحني رقم (2) : $6^{\circ} 15' 02''$

للنحني رقم (3) : $5^{\circ} 17' 20''$

9-11 للطلوب إعداد جدول بالمعلومات اللازمة لتوقيع للنحني الدائري رقم (1) الوارد في المسألة رقم (7-11) .

10-11 جزعان مستقيمان من طريق مقترح يتقاطعان في نقطة محطتها أو تلريجها (3464.38m) وينحرفان عن بعضهما بزاوية (θ) مقدارها $(58^{\circ} 17' 32'')$ ، يراد وصلهما بمنحنى دائري نصف قطره (R) يساوي (200m) ويتصل من طرفيه بمنحنين متدرجين حازونيين مكعبين (Two Cubic Spiral Transition Curves) علماً بأن السرعة التصميمية (V) تساوي (80 km/hr) وأن معدل التفور في التسارع القطري على طول كل من اللحنين للتدرجين (a) يساوي (0.4 m/Sec^3) . للطلوب إعداد جدول للمعلومات اللازمة لتوقيع للحنينات الثلاثة في الطبيعة .

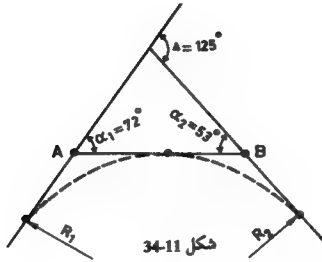
11-11 خطان مستقيمان من طريق مقترح يتقاطعان في نقطة محطتها (6660m) وينحرفان عن بعضهما بمقدار : $\Delta = 125^{\circ}$ وهناك مستقيم ثالث يقطعهما في النقطتين (A) و (B) ويشكل معهما زاويتين مقدارهما (شكل 11-34) $\alpha_1 = 53^{\circ}$, $\alpha_2 = 72^{\circ}$. يراد وصل للمستقيمات الثلاثة بمنحنى مركب نصف قطر للنحني الدائري الأيسر : $R_1 = 350 \text{ m}$ ونصف القطر للنحني الدائري الأيمن : $R_2 = 250 \text{ m}$

للطلوب عمل جدول مختلف المعلومات المطلوبة لتوقيع هذا النحني للمركب في الطبيعة .

12-11 لديك للمعطيات (أو للدولات Data) التالية :

* سمت (Whole Circle Bearing or Azimuth) للمماس الأيسر :

Az. $11^{\circ} 20' 15''$

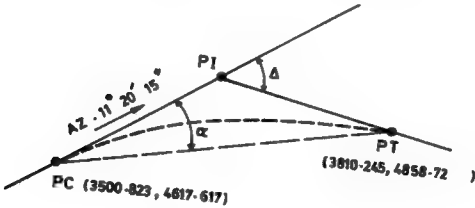


• سمت اللمس الأيمن : $Az. 59^{\circ} 56' 05''$

• نصف قطر للحنى الدائري $R = 500 \text{ m}$

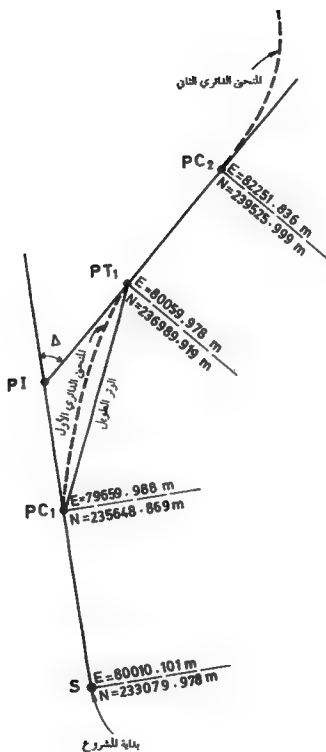
المطلوب : حساب مساحة القطاع الدائري (Sector) المحصور بين نصفي القطر والقوس الدائري .

13-11 لديك للمعلومات اللونية على الشكل (35-11) التالي ، والمطلوب حساب مقدار زاوية الانحراف (Δ) .



شكل 35-11

- 14-11 ماذا نعي بالנקاط الرئيسية على طول خط محور مشروع طريق معين (مقترح)؟
- 15-11 هل نستطيع دائماً رؤية أو الوصول إلى أو تثبيت نقطة تقاطع مماسي للحنين الأفقي؟ أذكر أمثلة ، وكيف يجري في مثل هذه الحالة تثبيت (أو توقيع) نقاط البدايات والنهايات للحنينات الأفقية للتعدي ؟
- 16-11 أذكر أهم فائدتين رئيسيتين لاستخدام نقاط للصلعات الجانبية المحاذية لمحور الطريق .
- 17-11 ما هي الجهات التي تقوم عادة بتصميم وتنفيذ مشاريع الطرق ؟
- 18-11 بالاستعانة بالشكل (11-36) التالي، للمطلوب إنجاز العمليات التالية :
- أ - حساب الاتجاه الدائري الكلي (Azimuth) لكل من للماسين الأيسر والأيمن للحنين الدائري الأول (الأيسر).
- ب - حساب مقدار زاوية انحراف مماسي للحنين الدائري الأول (Δ_1) .
- ج - حساب طول الوتر الطويل للحنين الأول .
- د - حساب طول للحنين الدائري الأول وطول مماسه .
- هـ - حساب للمسافات بين نقاط التماس باستثناء للحنينات .
- 19-11 بالاستعانة بالشكل (11-37) التالي، للمطلوب حساب مقدار الفرق بين طول للحنين الدائري ووتره .
- 20-11 بالاستعانة بالشكل (11-38) التالي، للمطلوب حساب إحداثيات نقطة التقاطع (PI) علماً بأن نصف قطر للحنين (R) يساوي (1200m) .
- 21-11 هل تصلح الإحداثيات للمستوية (المحلية) لغايات تخطيط ودراسات وتنفيذ مشاريع الطرق ؟ ولماذا ؟ وما نوع الإحداثيات التي تستخدم عادة ؟
- 22-11 ما الفرق بين للتر الجيوديسي وللتر للمستوى ؟
- 23-11 أيهما أطول للمسافة الجيوديسية أم للمسافة الأفقية للمستوية (القياسية للوجود على الطبيعة ؟ وما هي العلاقة بينهما ؟



شكل 11-36

24-11 إذا علمت أن مقدار عامل للقياس في موقع معين من مشروع طريق يساوي

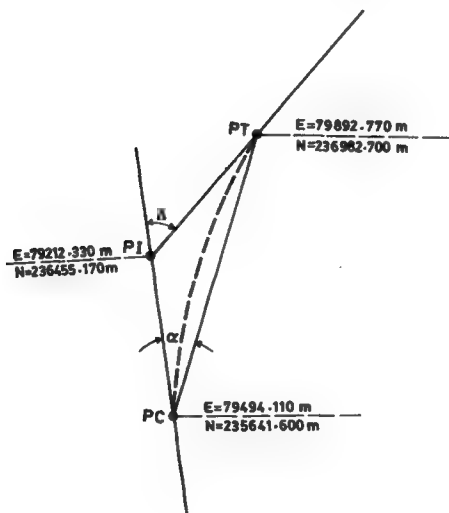
1.000655 ويراد توقيع مسافة بين نقطتين (A) و (B) إحداثياتهما :

$$X_A = E_A = 6740.658 \text{ m} , \quad Y_A = N_A = 8126.742 \text{ m}$$

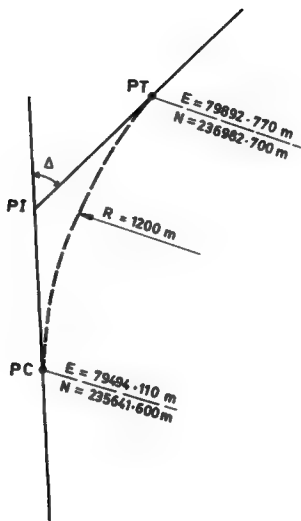
$$X_B = E_B = 6892.725 \text{ m} , \quad Y_B = N_B = 8314.514 \text{ m}$$

للمطلوب حساب المسافة التي يتوجب قياسها على الطبيعة عند تثبيت أم توقيع

إحدى النقطتين من الأخرى (بالرصد والقياس).



شكل 11-37



شكل 11 - 38

25-11 نقطتان (A) و (B) ، إحداثيات (A) :

$$E_A = X_A = 6740.658 \text{ m} , \quad Y_A = N_A = 8126.742 \text{ m}$$

والإتجاه الدائري الكلي (Azimuth) للخط الراصل بينهما (α_{AB}) يساوي :

"08' 00" 39° وللسافة الأفقية للمستوية بينهما (القيسة على الطبيعة)

تساوي 241.467m ، للطلوب حساب إحداثيات النقطة (B) الجيوديسية

علماً بأن عامل للقياس في منطقة القياس (حيث توجد (A) و(B)) يساوي :

$$1.000655 .$$

26-11 كيف يتم ، واستناداً إلى ماذا، توقيع أو تثبيت مسار الطريق الأفقي على الطبيعة؟

27-11 اعمل كروكي جزء من محور طريق يوضح النقاط الرئيسة منه بالإضافة إلى

نقاط للمساحة الجيوديسية الرئيسة (التي هي جزء من شبكة الإحداثيات العامة)

والفرعية (التي هي في الغالب نقاط مضلعات تم تأسيسها استناداً إلى نقاط

للثلاث المرجعية) التي تومس وتجمد في الميدان لغايات تحديد مواقع النقاط

الرئيسة وغير الرئيسة من محور الطريق .

28-11 بعد أن يتم حساب الإحداثيات وكافة للمعلومات الأخرى الضرورية الخاصة

بالنقاط الرئيسة (بداية للمشروع ، نهاية للمشروع ، بدايات ونهايات للمنحنيات

الأفقية، النقاط المثلثة للمنحنيات الأفقية المختلفة) للمسار الأفقي للطريق، كيف

يتم الآن نقل هذا المسار من المعططات إلى الطبيعة؟ أذكر في هذا الصدد

تسلسل الخطوات الميدانية اللازمة .

29-11 نقطتان مساحيتان فرعيتان (1) و (2) ، إحداثيتهما :

$$X_1 = 6740.658 \text{ m} , \quad Y_1 = 8126.741 \text{ m}$$

$$X_2 = 6892.725 \text{ m} , \quad Y_2 = 8314.514 \text{ m}$$

هما الأقرب إلى نقطة رئيسة من محور طريق (S) إحداثياته :

$$X_s = 6412.333 \text{ m} , \quad Y_s = 7913.444 \text{ m}$$

للطلوب حساب القيم اللازمة لتحديد موقع النقطة (S) وكذلك شرح تسلسل

الخطوات الميدانية اللازمة بشأن تحديد موقع النقطة (S) على الطبيعة علماً بأن

عامل للقياس يساوي (1.000655) .

ملحوظة : يمكن إتباع نفس أسلوب الحل هنا بشأن تعيين مواقع النقاط الرئيسة الأخرى من محور الطريق (وهي جميعها ذات إحداثيات معلومة) ولكن نختار لكل من هذه النقاط النقطتين للرجوعيتين الأقرب لها .

30-11 لديك ما يلي :

* إحداثيات نقطة بداية للشروع (S) :

$$X_s = 6412.333m \quad , \quad Y_s = 7913.444 m$$

* إحداثيات نقطة مساحية فرعية (1) :

$$X_1 = 6740.658 m \quad , \quad Y_1 = 8126.741 m$$

* إحداثيات نقطة التماس الأولى (PC₁) للمنحنى الأفقي الأول :

$$X_{PC_1} = 7313.420 \quad , \quad Y_{PC_1} = 7999.001m$$

للطلب حساب القيم اللازمة لتحديد مواقع على الجزء للمستقيم ما بين (S) و (PC₁) تباعد فيما بينها بمقدار (25) متر جيوديسي وكذلك شرح تسلسل الخطوات للبدائية المطلوبة علماً بأن عامل للقياس (Scale Factor) يساوي (1.000655) .

ملحوظة : يمكن إتباع نفس أسلوب الحل لو عُرفت إحداثيات نقطة على الجزء للمستقيم (S,PC₁) بدلاً من إحداثيات نقطة التماس (PC₁) .

31-11 بين كيف يمكن تحديد موقع نقطة التقاطع (PI₁) لمماسي للمنحنى الأفقي الأول

إذا علمت أن :

$$X_s = 7511.001m \quad Y_s = 8151.014m$$

$$X_{PC_1} = 7313.420m \quad Y_{PC_1} = 7999.001m$$

$$X_{PI_1} = 7770.111m \quad Y_{PI_1} = 8111.004m$$

علماً بأن النقطة (T) هي علاقة مساحية فرعية مجاورة وغريبة مسن (PC₁) وأن عامل للقياس يساوي (1.000655) .

32-11 لديك للمعطيات التالية :

* إحداثيات نقطة التماس الأول (PC_1) وإحداثيات نقطة التقاطع الأول (PI_1) وإحداثيات نقطة للمساحة الفرعية (7) كما وردت في نص المسألة (31-11) تماماً .

* النقطة (PI_1) غير مرئية من نقطة التماس الأول (PC_1) .

* زاوية انحراف النقطة الأولى من للنحن وطول الوتر الجزئي الخاص α_1 :

$$d_1 = 0^\circ \quad 40' \quad 35'', c_1 = 7.152 \text{ m}$$

* زاوية انحراف النقطة الثانية من للنحن وطول الوتر الجزئي الخاص α_2 :

$$d_2 = 0^\circ \quad 14' \quad 20'', c_2 = 10 \text{ m}$$

* عامل للقياس يساوي : 1.000655

الطلوب : حساب ووصف الخطوات الميدانية اللازمة لتثبيت مواقع النقطتين (1) و(2) من للنحن.

33-11 صف بإيجاز كيفية تثبيت أو تجسيد علامات طرفي الطريق .

34-11 كيف يمكن حل مشكلة تحديد بعض نقاط أحد جانبي الطريق في المناطق

للمأهولة وحيث لا تسمح طبيعة الأرض بوضع علامات على هذا الجانب ؟

35-11 صف إحدى طرق تجسيد النقاط للمثلة لحدود وجوانب طريق معين أثناء مرحلة التنفيذ.

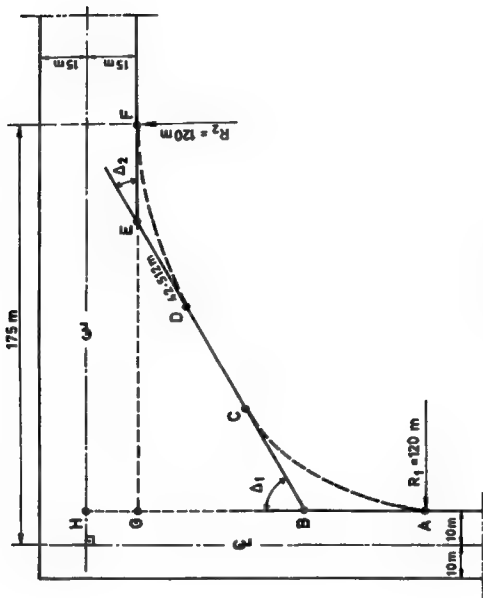
36-11 هل يلزم تثبيت علامات أخرى في الطبيعة إضافة إلى علامات محور الطريق وجانبه ؟ ولماذا ؟

37-11 منحني دائري بطول (198.234m) يمثل جزءاً من دائرة كاملة طول محيطها (997.222m) ، للطلوب حساب :

أ - نصف قطر للنحن الدائري .

ب - طول كل من مماسي للنحن الدائري .

ج - زاوية الانحراف على للمماس لوتر جزئي طوله (20) متراً .



شكل 39-11

- 38-11 استناداً إلى المعطيات للبيانة على الشكل (11-39) ، للطلوب حساب الأبعاد والزوايا التالية :
- أ - طول كل من للنحنيين والوترين الكبيرين .
- ب - الزاوية المركبة لكل من للنحنيين .
- ج - للسافة (CD) .
- 39-11 بشكل عام ، كم تكون للسافة بين محطة وأخرى على الأجزاء للسستقيمة من محور طريق لغايات تخطيط (تثبيت أو توقيع) هذا المحور في الطبيعة ؟
- وكم تكون هذه للسافة في اللنحنيات الدائرية البسيطة ؟
- 40-11 هل من الضروري دائماً استخدام جهاز التودوليت في توقيع اللنحنيات الأفقية ؟ متى يصبح ذلك من الضروري ؟ ما هو البديل في حالة عدم استخدامه؟
- 41-11 صف كيف يمكن تخطيط منحنى أفقي في الطبيعة نصف قطره بمحدود خمسين متراً .
- 42-11 هل يلزم دائماً تحديد مركز للحنن الدائري في الطبيعة؟ متى يصبح ذلك ضرورياً ؟
- 43-11 هل يلزم دائماً قياس زاوية انحراف للمماسين (Δ) للمنحنى الدائري قياساً مباشراً في الطبيعة؟ وهل هناك طريقة أخرى ، ما هي ؟
- 44-11 منحنى أفقي دائري لئمن (Right Hand Curve) طول نصف قطره (400m) وزاوية انحراف مماسية ($56^{\circ} 58' 49'' = \Delta$) ، للطلوب حساب كافسة العناصر الأساسية بما في ذلك زوايا الانحراف الجزئية ومقدار الفرق بين طول القوس الجزئي ووتره معتبراً (20m) كطول مناسب للأقواس الجزئية (باستثناء القوس الجزئي الأخير الذي يقل عن ذلك) .
- 45-11 كيف يمكن فحص زوايا الانحراف الجزئية (Checking Deflection Angles) الخاصة بنقاط للحنن الوارد في للسألة (11-44)؟

- 46-11 ما هي للنبولات (العناصر للعلوماتية ، Data) الأساسية التي يجري تسجيلها عادة بمجوار للنحن الدائري على عتطل الطريق ؟
- 47-11 ما هي للعلومات الأساسية التي يجب جدولتها وتوفرها في الليلان لأليات تثبيت منحنى دائري معين ؟
- 48-11 ارسم كروكي يبين العناصر الأساسية للنحن الدائري للولرد في اللائلة (43-11) كما يجب أن يظهر على المخطط .
- 49-11 منحنى حاد (Hard Curve) بنصف قطر قلده (80) متراً وزاوية انحراف (زاوية مركزية) قلدها (30° 30' 101°) عوطول كل قوس جزئي (أو الوتر الجزئي على للنحن) 10 متراً ، باستثناء القوس أو الوتر الجزئي الأخير، للطلوب حساب كافة عناصر للنحن الأساسية والنبولات التي تمكن من تثبيته في الطبيعة .
- 50-11 ما هي العلاقة بين قسوة أو حدة للنحن الدائري من جهة ومقلد كل من زاوية الانحراف أو التقاطع ونصف القطر لهذا للنحن من جهة أخرى ؟
- 51-11 ما هي للمادلة التي تبين العلاقة بين القوة الطاردة المركزية وكتلة العربة ونصف قطر للنحن وسرعة للركبة ؟
- 52-11 ما الذي يحصل عندما تعبر مركبة بسرعة معينة منحنى أفقي ؟
- 53-11 ما الذي يساعد في مقاومة قوة الطرد الأتية للركبة ؟ وماذا يحصل إذا لم تكن قوة للمقاومة كافية ؟
- 54-11 ما الذي يتوجب عمله لمنع انزلاق وانقلاب العربة أثناء عبورها منحنى أفقي بسرعة معينة ؟
- 55-11 لماذا يجري عملياً رفع الطرف الخارجى للطريق بمقلد نصف التعلية وخفض الطرف الداخلى بمقلد النصف الآخر بدلاً من تطبيق الكامل للتعلية على طرف واحد (أي رفع الطرف الخارجى أو خفض الطرف الداخلى بكامل للمقلد المحسوب للتعلية) ؟

56-11 ما هو مقدار التعلية الواجب تطبيقه على الجزء للنحن الأفقي علماً بأن

نصف قطر هذا للنحن : $R = 250m$ ، وسرعة المركبة $V = 60 \text{ km/hr}$ ،

وعرض الطريق $b = 10m$ ؟

57-11 ما هو مقدار الليل العرضي الواجب تطبيقه على سطح الطريق وفق

للمعطيات الواردة في المسألة (56-11) ؟

58-11 ما هو مقدار التعلية الواجب تطبيقه على الجزء للنحن الأفقي من طريق في

ظل للمعطيات التالية :

$V = 40 \text{ mph}$, $R = 800 \text{ ft}$

$b = 10m$

(ترمز b إلى عرض الطريق)

-12 -

الفصل الثاني عشر

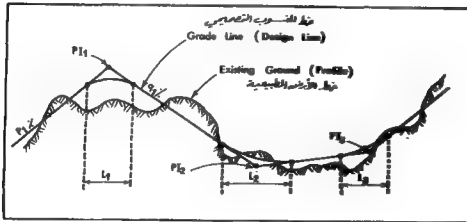
المنحنيات الرأسية

VERTICAL CURVES

12 - المنحنيات الرأسية (Vertical Curves) [52م]

1-1 مقالة :-

عندما يتقرر شق طريق معين أو خط سكة حديد ، أو ما شابه ذلك من خطوط المواصلات الأرضية المتنوعة ، أو عندما يراد إدخال تحسيناً معيناً على خط مواصلات قديم فإنه يصار أولاً إلى رسم لقطع الطولي لسطح الأرض الطبيعية باتجاه محور للمشروع قيد الدراسة . وبعد ذلك تُجرى الدراسة بشأن للفاصلة بين خط منسوب تصميمي وآخر (Grade lines) . الشكل (1-12) يمثل خط للنسوب المقترح للنسوب للنسوب النهائي لخط محور للمشروع الذي تطوره مباشرة مواد الفرشيات والتعبيد المختلفة (Surfacing Materials) وهو يمثل أيضاً منسوب سطح التربة (Subgrade) للعد لاستقبال طبقات التغطية أو التبيد (فرشيات وعططات أسفلتية .. الخ) . بعد اختيار خط للنسوب الذي هو في الواقع عبارة عن مجموعة خطوط مستقيمة متقاطعة يجري وصل كل خطين متقاطعين (في المستوى الرأسي) ومتتاليين بمنحنى رأسي مناسب . إن اختيار منحني من نوع معين دون آخر يعتمد على عدة أمور ومزايا هندسية معينة وقد وجد ، كما سنرى فيما بعد ، أن المنحنى للكلالة (Parabolic) هو للفضل بشكل عام . كذلك فإن استخدام منحنيات رأسية بمحاسبين متساويين (Equal- Tangent Parabolic Vertical Curve) لكل منهما هو الأمر الشائع والفضل أيضاً فيما عدا حالات خاصة ومحدودة .



الشكل 1-12 خط للنسوب التصميمي وخط سطح الأرض الطبيعية ، المقطع الطولي

12-2 العناصر الأساسية للمنحنى الرأسي

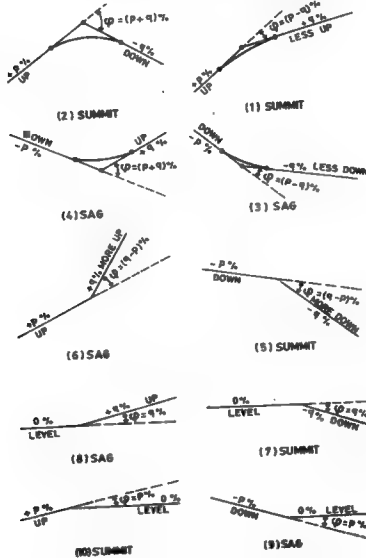
- لتعيين مختلف العناصر اللازمة لتصميم وتوقيع منحنى رأسي معين ، وبالتالي لتحديد مناسيب عدد مختار وكاف من النقاط الواقعة على المنحنى الرأسي للعتبر ، لابد من توافر المعلومات التالية بشكل مباشر أو غير مباشر (اشتقاق من عناصر معلومة أخرى) :
- ميلول (Gradients) خطوط للناسيب الرأسية للتتالية .
 - منسوب نقطة تقاطع كل خطي منسوب متتاليتين (Elevation of the PI).
 - محطة نقطة التقاطع لكل خطي منسوب متتالين (Stationing of the PI) .
 - الطول المقترح أو المختار للمنحنى الرأسي وهو عبارة عن المسافة الأفقية بين نقطتي طرفي للمنحنى الرأسي للعتبر (تغطي التماس BVC, EVC) .
 - تتحدد ميلول خطوط للناسيب اعتماداً على عدة عوامل ، نذكر منها :
 - نوع أو صنف الطريق .
 - طبيعة الأرض (وعرة ، ومرتجة ، وسهلية ، ومنظمة الليل ... الخ).
 - تربة الطريق من حيث ثباتها وقوة تحملها .
 - ميزانية للمشروع والوضع الاقتصادي للبلد.

12 - 3 انتقاء المنحنى الرأسي Selection of vertical curve :

هناك العديد من للنحنيات الرياضية التي يمكن استعمالها، منها منحنى القطع للكاف (Parabola) وللنحنى الدائري (Circular Curve) ومنحنى القطع الناقص (Ellipse). عندما تكون نسبة طول منحنى الوصل الرأسي (L) إلى طول نصف قطره (R) أصغر من 0.10 ($L/R < 0.1$) فلن يكون هناك عملياً فرقاً بين منحنى الدائرة منحنى القطع الناقص ومنحنى القطع للكاف، ومع ذلك وعلى الرغم من أنه غالباً ما يتحقق هذا الشرط إلا أننا نلجأ إلى استعمال القطع للكاف .

4-12 إشارة الميل وزاوية التخرج (Grade Angle) :

سنصطلح فيما يلي على إشارة للميل فنعتبر أن الخط الذي يعلو جهة اليمين Rising to the Right والذي ينحدر جهة اليمين Falling to the Right سالباً .
ونستعمل عن زاوية التخرج (أو فرق للميل) بالفرق الجبري بين الميلين ، وهنا نواجه الحالات الست التالية ، شكل (2-12) .



شكل 2-12 فرق الميل (زاوية التخرج أو الفرق الجبري)

من الشكل (12-2) نلاحظ أنه في الحالتين الأولى والثالثة يكون للمماسان بالتقاطع واحد وبذا يكون فرق الليل هنا مساوياً % (p - q) بغض النظر عن الإشارة (أي أن كل من p و q تدخل بقيمتها المطلقة) وفي الحالتين الثانية والرابعة يكون للمماسات بالتقاطع مختلفين وبذا يكون فرق الليل أو القيمة للوحدة (Combined Value) لهما مساوياً p + q بغض النظر أيضاً عن الإشارة. كما نطلق على المنحنى الرأسي في الحالتين الأولى والثانية بمنحنى تلال (Summit Curve) ونطلق على المنحنى الرأسي في الحالتين الثالثة والرابعة بالمنحنى القاعي (Valley or Sag Curve). نلاحظ من الحالتين الخامسة والسادسة أن ميل للمماس الثاني أكبر من ميل للمماس الأول (على عكس الحالتين الأولى والثالثة) وبالتالي فإن مقدار زاوية التدرج يساوي % (q - p) وليس % (p - q) كما ورد للحالتين الأولى والثالثة.

12-5 تصميم المنحنى الرأسي (Design of Vertical Curve) :

12-5-1 الطريقة الهندسية ، [25م] [30م] [38م] [52م]

يعرف للمنحنى للمكان من الدرجة الثانية بـ المنحنى الذي يكون فيه بمعد أي نقطة منه عن المحرق (F) مساو لبعد هذه النقطة عن مستقيم آخر يوازي محور السينات (X-axis) فإذا افترضنا نقطة ما (M) من المنحنى إحداثياتها (X,Y) ونقطـة المحرق (F) إحداثياتها (P,Q) فإنه بملاحظة الشكل (12-3) يمكننا كتابة العلاقات الرياضية التالية :

$$MF = \sqrt{(X - P)^2 + (Y + Q)^2}$$

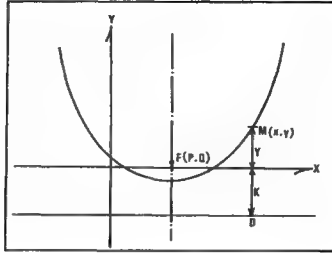
$$MD = Y + K$$

ولكن $MF = MD$ بالتعريف وبالتالي :

$$(X - P)^2 + (Y - Q)^2 = (Y + K)^2$$

$$X^2 + P^2 - 2 \times P \times Y + Y^2 + Q^2 - 2YQ - Y^2 - K^2 - 2YK = 0$$

$$X^2 - 2pX + P^2 - Y(2Q + 2K) - K^2 + Q^2 = 0$$



الشكل 3-12 المنحنى المكافئ من الدرجة الثانية

$$Y(2Q + 2K) = X^2 - 2PX + P^2 + Q^2 - K^2$$

$$Y = \frac{X^2}{2(Q+K)} - \frac{PX}{(Q+K)} + \frac{P^2 - K^2 + Q^2}{2(Q+K)}$$

$$\frac{1}{2(Q+K)} = A, \quad \frac{-P}{Q+K} = B,$$

إذا رمزنا بـ

$$\frac{P^2 - K^2 + Q^2}{2(Q+K)} = C$$

تصبح لدينا معادلة القطع المكافئ على الشكل التالي :

$$Y = AX^2 + BX + C \quad \dots\dots\dots(1-12)$$

وفي أعمال المنحنيات الرأسية فإنه يلجأ عملياً إلى حالة خاصة في القطع المكافئ وهي حالة كون المحرق واقفاً على محور الترتيب Y-axis وكون محور السينات مماساً للمنحنى عند نقطة للتصنيف وعندما تكون إحداثيات المحرق F هي (Q و 0) ومن الشكل (4-12) يمكننا كتابة العلاقات الرياضية التالية :

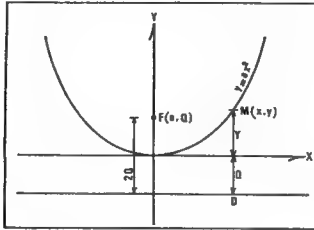
$$MF = MD$$

وبالتالي :

$$[(X-0)^2 + (Y-Q)^2]^{\frac{1}{2}} = Y + Q$$

$$X^2 + Y^2 - 2YQ + Q^2 = Y^2 + Q^2 + 2YQ$$

$$X^2 = 4YQ \quad , \quad Y = X^2 / (4Q)$$



شكل 12 - 4 المنحنى المكافئ البسيط

وإذا رمزنا بـ (a) لـ $1/(4Q)$ ، عندما يصبح :

$$Y = a(X^2) \dots \dots \dots (12 - 2)$$

1-1-5-12 خواص القطع المكافئ البسيط

(Properties of Simple Parabola)

- 1 - إذا رسم من نقطة ما (D) على محور السينات مماس للمنحنى كان بعد هذه النقطة عن مسقط نقطة التماس على محور السينات مساوياً لبعد النقطة (D) عن نقطة منتصف هذا المنحنى (مبدأ الإحداثيات) أي أن $DO = DH$.
- 2 - يسمح لنا للمنحنى المكافئ البسيط عملياً (وبتقريب مقبول) افتراض العناصر التالية شريطة أن تكون ميلول للمماسات صغيرة (محدود 4-5% أو أصغر):

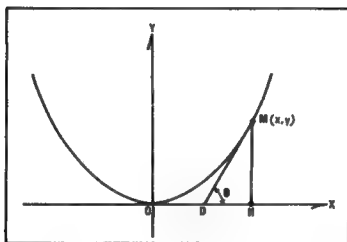
أ - طول للنحن الرأسي L يساوي مجموع طولي للمماسين الخاصين بهذا للنحن وعليه إذا افترضنا أن طول للمماس الخلفي أو الأول (First Tangent) يساوي (ℓ_1) وطول للمماس الأمامي أو الثاني (2nd TAN) يساوي (ℓ_2) ، فإن :

$$L = \ell_1 + \ell_2$$

ب - وتر للنحن AB يساوي مسقطه الأفقي H الشكل (6-12)،

ويساوي أيضاً مجموع طولي للمماسين أي أن: $AB = H = 2\ell = L$

جـ - طول للمماسين ℓ_1, ℓ_2 متساويين ، $AP = BP = \ell$



شكل 5-12 خواص القاطع المكافئ البسيط

البرهان :

ملاحظة الشكل (5-12) ومعرفة أن معادلة للنحن هي على الشكل التالي :

$$Y = aX^2$$

وللشتق بالنسبة لـ X يساوي : $dy/dx = Y' = 2aX$ ولكن للشتق يساوي أيضاً

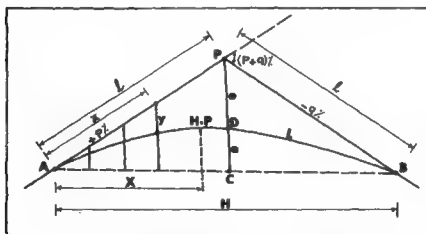
$\tan \theta$ ويساوي MH/DH وعليه فإن : $Y' = 2aX = MH/DH$ وبتمريض

$MH=Y$ ، يتج لدينا :

$$2aX = \frac{Y}{DH} = \frac{aX^2}{DH} \Rightarrow DH = \frac{X}{2}$$

وحيث أن $OD + DH = X$ إذن DO يساوي أيضاً $OD = DH$ وهو المطلوب .

د - الخط الرأسي للار من نقطة تقاطع المماسين ينصف الوتر AB ويكون $PD = DC = e$ حيث C نقطة منتصف الوتر و D نقطة تقاطع الخط الرأسي مع المنحنى وهذه النقطة تكون أعلى أو أخفض نقطة من المنحنى في حالة المنحنيات الرأسية للتماظر Symmetrical Vertical Curves أي تلك التي يتساوى فيها ميلًا للمماسين وفي حالة المنحنيات غير للتماظر Unsymmetrical فإن أعلى أو أخفض نقطة من المنحنى، High Point، تكون على مسافة أفقية مقدارها X من النقطة A شكل (6-12) وسنحسب مقدار هذه المسافة فيما بعد .



الشكل 6-12 عناصر القاطع المكافئ البسيط

هـ - أطوال الأعمدة المأخوذة على المماس تتناسب مع مربعات المسافات المأخوذة أيضاً على المماس مقاسة من A (بالنسبة للمماس الخلفي) أو من B (بالنسبة للمماس الأمامي) . وهذا واضح من معادلة المنحنى :

$$y = ax^2 \text{ ، أو بالأحرى : } Y = AX^2$$

2-1-5-12 - تعيين قيم الثابت a في معادلة المنحنى المكافئ البسيط :

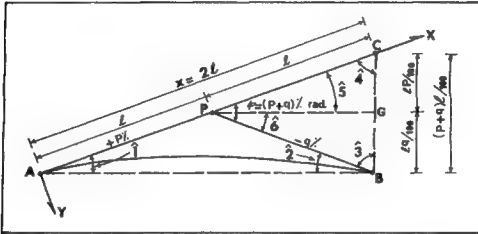
أ - حالة كون زلوية الميل ϕ (Grade Angle) مساوية $\phi = p + q$

(اللماسين في اتجاهين مختلفين) وهذه تنطبق على الحالتين الثانية

والرابعة من الشكل 7, 3 ولتأخذ فيما يلي الحالة الثانية وهي حالة

كون ميل للمس الأول = $p\%$ وميل للمس الثاني $q\%$

لاحظ الشكل (7-12) .



الشكل 7-12 تعيين قيمة الثابت (a) في معادلة المنحنى المكافئ البسيط

لنمد للمس الأول AP بمقدار طوله إلى C وبافتراض تساوي اللماسين

يصبح لدينا: $AP = PB = PC = l$ كذلك دعنا نمر محور الترتيب Y Axis

بنقطة التماس الأولى A وبحيث يتعامد مع اللماس الأول أي يجعل محور

السينات X-axis ينطبق على خط للمس الأول كما هو واضح في

الشكل 7-12 .

وهنا نلاحظ بسهولة أن :

$$(AP = PB) \quad \hat{1} = \hat{2}$$

$$(PC = PB) \quad \hat{3} = \hat{4}$$

وعليه :

$$\hat{2} + \hat{3} = \hat{1} + \hat{4}$$

$$\hat{2} + \hat{3} = \frac{1}{2}(\hat{2} + \hat{3} + \hat{1} + \hat{4}) = 90^\circ$$

أي أن المثلث ABC قائم الزاوية في B وعليه إذا كانت القيمة المطلقة لميل
المماس الأول هي % p والقيمة المطلقة لميل المماس الثاني % q وإذا قبلنا
بتساوي طول PG مع المماس وهذا من وجهه النظر العملية يمكن حيث تكون
في القالب ميول للمماسات خفيفة فإن :

$$CG = PG \tan \hat{5} = \ell \tan \hat{5} = \frac{p\ell}{100}$$

وكذلك :

$$GB = PG \tan \hat{6} = \ell \tan \hat{6} = \frac{q\ell}{100}$$

لاحظ أن :

$$\hat{2} = \hat{6} = \frac{q}{100} \text{ radian} \text{ وأن } \hat{1} = \hat{3} = \frac{p}{100} \text{ radian}$$

وعليه فإن :

$$BC = BG + GC = \left(\frac{p+q}{100}\right) \cdot \ell$$

وعندما تكون ميول للمماسات خفيفة كما ذكر آنفاً تكون الزاوية صغيرة
وبالتالي $90^\circ = 4$ أي يقبل بتقريب جيد أن يكون BC متعامداً مع AC أي
مع محور السينات وبعبارة أخرى يكون BC ممثلاً لقيمة y للقابلة لقيمة :
x = 2\ell

من هنا لإيجاد قيمة الثابت a نعوض في معادلة النحن $y = ax^2$ عن قيمة X
بـ 2\ell وعن قيمة y بـ : $\ell/100 (p+q)$ ، فيصبح لدينا :

$$\left(\frac{p+q}{100}\right) \cdot \ell = a (2\ell)^2 = 4a\ell^2$$

ومنه

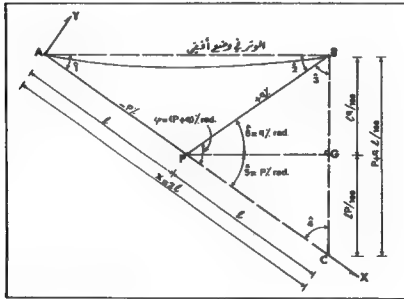
$$a = \frac{p+q}{400 \ell} \quad (3-12)$$

ومعادلة المنحنى هي :

$$a = \frac{p+q}{400} \ell^2 \dots\dots\dots (4-12)$$

ملحوظة :

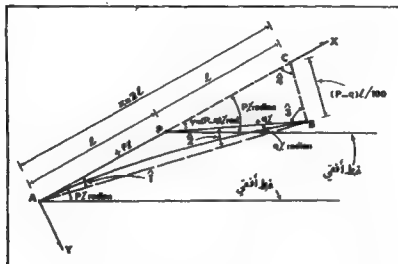
عندما يكون للماسان في اتجاهين مختلفين ولكن ميل للمماس الأول الخلفي سالب وميل للمماس الثاني الأمامي موجب فيمكن الرهان بأن قيمة الثابت هي القيمة للشقة نفسها في الفقرة (2-1-5-12) ، أي أن :
 $a = (p + q)/400 \ell$ لاحظ الشكل (8 - 12) .



الشكل 8 - 12

هنا أيضاً يمكن بسهولة الرهان على أن $\hat{2} + \hat{3} = 90^\circ$ وأنه أيضاً بافتراض أن $PG = \ell$ (ميلو للمماسات خفيفة) يصبح $RG = \ell$ فإذا اعتبرنا كما في الحالة السابقة بأن BC يعامد تقريباً محاور السينات X - Axis وبالتالي ممثلاً

ب- حالة كون زاوية الميل φ مساوية : $\varphi = p - q$ (للماسين في اتجاه واحد) وهذه تنطبق على الحالتين الأولى والثالثة من الشكل (12-2) ولنأخذ الآن الحالة الأولى وهي حالة كون ميل للماس الأول (الخلفي) موجب وميل للماس الثاني (الأمامي) موجب أيضاً لاحظ الشكل (12-9) .



الشكل 9 - 12

كما في الحالة - أ - يمكن الوهان بسهولة على أن للثلث ABC قائم الزاوية في B كما يمكن إهمال قيمة الزاوية 1 بجانب الزاوية 4 وبالتالي اعتبار BC متعامد مع محور السينات X-Axis في النقطة C أي أن $90^\circ = \theta_4$ وبالتالي فإن :

$$\tan \phi = \frac{p - q}{100} = \frac{BC}{PC} = \frac{BC}{l}$$

ومنه :

$$BC = \ell \left(\frac{p-q}{100} \right)$$

وحيث أنه افترض بالتقريب أن BC يعامد محور السينات إذن فهو ممثل لقيمة y المقابلة لـ $x = 2\ell$ أي أن $x = 2\ell$ وكذلك:

$$y = BC = (p - q) \ell / 100$$

وبصيرى هاتين القيمتين في القانون $y = ax^2$ يصبح لدينا .

$$\left(\frac{p-q}{100} \right) \ell = a(2\ell)^2 = 4a\ell^2$$

ومنه :

$$a = \frac{p-q}{400 \ell} \dots\dots\dots (5-12)$$

ومعادلة للتحقق هي :

$$a = \frac{p-q}{400 \ell} x^2 \dots\dots\dots (6-12)$$

ملحوظة :

عندما يكون للمماسان في اتجاه واحد ولكن كلا لليلين بإشارة سالبة لاحظ الشكل (10-12) فإنه أيضا يمكن العرمان على أن $\hat{2} + \hat{3} = 90^\circ$ وأنه بافتراض أن الزاوية ℓ صغيرة عمليا فإن الزاوية 4 تساوي تقريبا زاوية قائمة وبالتالي فإن BC يعامد محور السينات في النقطة C ويتبع ذلك :

$$BC = \left(\frac{p-q}{100} \right) \ell$$

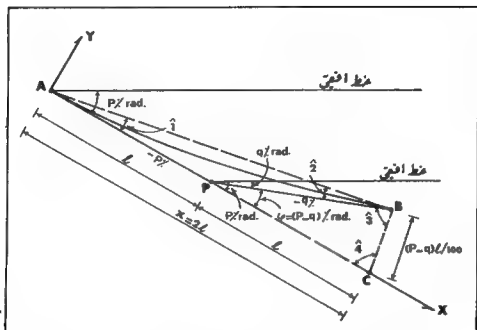
أي تسمى القيمة المستخرجة في الفقرة - ب - (للمماسان موجبان) وأن هذه القيمة ممثلة لـ (y) للمقابلة لـ $x = 2\ell$ وعليه تكون قيمة الثابت a

$$\frac{p-q}{400 \ell} x^2$$

مسوية أيضا :

$$y = \frac{p-q}{400 \ell} x^2$$

ومعادلة للتحقق هي :



الشكل 10 - 12

الجدول رقم (1-12) التالي يبين ملخصاً للحالات الست السابقة :

الجدول 1- 12

إشارة ميل للميل الأول p	إشارة ميل للميل الثاني q	قيمة الثابت α	شكل المعادلة	فرق الميل أو زاوية الميل راديان φ
+	-	$\frac{p+q}{400 \ell}$	$y = \frac{p+q}{400 \ell} x^2$	$(p+q) \%$
-	+	$\frac{p+q}{400 \ell}$	$y = \frac{p+q}{400 \ell} x^2$	$(p+q) \%$
+	+	$\frac{p-q}{400 \ell}$	$y = \frac{p-q}{400 \ell} x^2$	$(p-q) \%$
-	-	$\frac{p-q}{400 \ell}$	$y = \frac{p-q}{400 \ell} x^2$	$(p-q) \%$
+	+	$\frac{q-p}{400 \ell}$	$y = \frac{q-p}{400 \ell} x^2$	$(q-p) \%$
-	-	$\frac{q-p}{400 \ell}$	$y = \frac{q-p}{400 \ell} x^2$	$(q-p) \%$

أي أن معادلة للنحن تكتب في حالة كون زاوية الميل (φ) مساوية $(p+q) \%$ radian)

$$y = \frac{p+q}{400 \ell} x^2 \quad \text{على الشكل :}$$

وفي حالة كون زاوية الميل مساوية : $(p-q) \%$ تكتب على الشكل :

$$y = \frac{p-q}{400 \ell} x^2$$

وفي حالة كون زاوية الميل مساوية $(q-p) \%$ تكتب على الشكل :

$$y = \frac{q-p}{400 \ell} x^2$$

ملحوظة :

في كل الحالات السابقة يجب إدخال القيم المطلقة لكل من p, q .

3-1-5-12 : اشتقاق معادلة القطع المكافئ البسيط بدلالة (e)

يلاحظ من الشكل (6-12) أن (e) هي عبارة عن قيمة y لمقابلة $x = \ell$ لذلك سنعرض عن قيمة x في معادلة القطع المكافئ البسيط وفي الحالات الثلاث التالية :

أ - زاوية الميل أو القيمة للوحدة Combined Value تساوي $\% (p + q)$. هنا يكون للمماس باتجاهين مختلفين (إشارة ميل إحداها موجبة وإشارة ميل الآخر سالبة) وبالتالي نطبق للمعادلة التالية :

$$y = \frac{p+q}{400\ell} x^2$$

وبتمريض : $x = \ell$ ، يصبح لدينا :

$$y = e = \frac{p+q}{400\ell} \ell^2$$

$$e = \left(\frac{p+q}{400}\right) \ell \dots\dots\dots (7-12)$$

وبضرب طرفي للمعادلة (4-12) بـ ℓ^2 يصبح :

$$\ell^2 y = \left(\frac{p+q}{400\ell}\right) x^2 \ell^2 = \left(\frac{p+q}{400}\right) \ell x^2$$

ولكن من للمعادلة (7-12) ، لدينا :

$$e = \frac{p+q}{400} \ell$$

$$\ell^2 y = e x^2 \quad , \quad y = e \frac{x^2}{\ell^2} \quad \text{إذن :}$$

$$y = e \left(\frac{x}{\ell}\right)^2 \dots\dots\dots (8-12)$$

ب - فرق الليل أو القيمة للوحدة تساوي % (p - q) هنا يكون للمامان بانغماس واحد (إشارة كلا لليلين موجبة أو سالبة) وبالتالي تطبق للمعادلة (7-10) حيث :

$$y = \frac{p-q}{400\ell} x^2$$

وبتعويض $x = \ell$ يصبح لدينا :

$$y = e = \frac{p-q}{400\ell} \ell^2$$

$$e = \frac{p-q}{400} \ell \dots\dots\dots (9-12)$$

وبضرب طرفي للمعادلة (7-10) بـ ℓ^2 يصبح :

$$\ell^2 y = \frac{p-q}{400\ell} x^2 \ell^2 = \left(\frac{p-q}{400}\right) \ell x^2$$

ولكن من للمعادلة (7-13) لدينا :

$$e = \frac{p-q}{400} \ell$$

$$\ell^2 y = e x^2 \quad \text{إذن :}$$

$$y = e \left(\frac{x}{\ell}\right)^2 \quad \text{أو :}$$

جـ - فرق الليل أو القيمة للوحدة تساوي % (q - p) . بطريقة مشابهة للحالتين الواردتين في الفقرتين (أ) و (ب) أعلاه يمكن أيضا البرهان على أن معادلة القطع المكافئ البسيط هي على الشكل : $y = e (x/\ell)^2$.
وعليه فإنه في جميع الحالات تكون معادلة القطع المكافئ البسيط المستخدم هنا في تثبيت للنحنيات الرأسية هي على الشكل $y = e (x/\ell)^2$ ولكن مع مراعاة النقاط المهمة التالية :

- 1 - تطبيق هذه العلاقة فقط في حالات للبول البسيطة وينصح بأن لا تعتمد هذه للبول % 4-5 .
- 2 - تكون قيمة e اللابخلة في للمعادلة (8-12) مساوية $\ell (p+q)/400$ في حالة كون للمامين بانغماس مختلفين أي (p,- q) أو (- p, + q)

الجدول 12- 2

إحدرة للملح	إحدرة للملح الثاني	زوية للملح % ϕ	قيمة e	شكل المعادلة
+	-	$p + q$	$\frac{p+q}{400} \ell$	$y = e \left(\frac{x}{\ell} \right)^2$
-	+	$p + q$	$\frac{p+q}{400} \ell$	$y = e \left(\frac{x}{\ell} \right)^2$
+	+	$p - q$	$\frac{p-q}{400} \ell$	$y = e \left(\frac{x}{\ell} \right)^2$
-	-	$p - q$	$\frac{p-q}{400} \ell$	$y = e \left(\frac{x}{\ell} \right)^2$
+	+	$q - p$	$\frac{q-p}{400} \ell$	$y = e \left(\frac{x}{\ell} \right)^2$
-	-	$q - p$	$\frac{q-p}{400} \ell$	$y = e \left(\frac{x}{\ell} \right)^2$

في الشكل (11-12) لنفرض أن أعلى نقطة من للنحن الرأسي هي النقطة V وأنها تبعد مسافة أفقية مقدارها x عن نقطة التماس A كذلك لنرمز بـ h للبعد الرأسي بين النقطة U (نقطة على للملح الأول تبعد مقدار x عن نقطة التماس الأولى) والنقطة V من للنحن الرأسي وبـ H للبعد الرأسي بين النقطة V وبين النقطة W (نقطة تقاطع الخط الرأسي للملح بالنقطة V مع وتر للنحن الرأسي AB).

لدينا من الشكل (11-12) :

$$UW = h + H = \frac{XP}{100}$$

$$H = \frac{XP}{100} - h$$

إن قيمة h في حالة ملح صغير الليل تساوى تقريبا مع قيمة y التي تقابل مسافة مقدارها x مأعوضة على محور السينات بدءا من نقطة التماس A وعليه نكتب :

(الماصان باتجاه مختلف)

$$h = y = \frac{p+q}{400 \ell} x^2$$

ومنه :

$$H = \frac{xp}{100} - \frac{p+q}{400} \ell \quad x^2$$

ولمعرفة قيمة (x) التي تعطي قيمة عظمى لـ H فإننا نشتق H بالنسبة لـ x ثم نستخدم المشتق وعليه :

$$\frac{dH}{dx} = 0 = \frac{p}{100} - \frac{2x}{400} \frac{(p+q)}{\ell}$$

أي أن :

$$\frac{p}{100} = \frac{2x}{400} \frac{(p+q)}{\ell}$$

$$x = \frac{2p \ell}{q+p}$$

وقد سبق أن ذكرنا أنه في حالة ميل خفيفة للمماسات فإن طول للملص يتساوى تقريبا مع مسقطه الأفقي عمليا ولذا فإن x تساوي تقريبا مسقطها الأفقي X وعليه يكون :

$$x = X = \frac{2p \ell}{p+q}$$

وحيث أن طول للنحن الرأسي L يفترض عمليا بأنه يساوي 2ℓ إذن يصبح لدينا :

$$X = \frac{pL}{p+q} \dots\dots\dots (10-12)$$

ملحوظة :

في الشكل (11-12) كانت إشارة ميل للملص الأول موجب وإشارة ميل للملص الثاني سالب ولا يختلف الأمر إذا كان ميل للملص الأول سالباً وميل للملص الثاني موجبا حيث في كلتا الحالتين تكون معادلة للنحن :

$$y = \frac{p+q}{400} \ell \quad x^2$$

ب - حالة كون للماسين في اتجاه واحد أي ميل كلا للماسين موجب أو كلاهما سالب

الشكل (12-12) .

ملحوظة :

في الشكل (12-12) كانت إشارة للمماسين الأول والثاني موجبة ولا يختلف الأمر أن كانت إشارة للمماسين سالبة حيث في كلتا الحالتين تكون معادلة للحنى .

$$y = \frac{p+q}{400 \ell} x^2$$

جـ- حالة كون ميل للمماس الثاني أكبر من ميل للمماس الأول بالقيمة المطلقة،

$$p = (q - p) \%$$

في هذه الحالة يكون لدينا :

$$y = \frac{q-p}{400 \ell} x^2$$

$$h = y = \frac{q-p}{400 \ell} x^2$$

$$H = \frac{x \cdot p}{100} - \frac{q-p}{400 \ell} x^2$$

$$\frac{dH}{dx} = \frac{p}{100} - \left(\frac{q-p}{400 \ell}\right) 2x = 0$$

$$\frac{p}{100} = 2x \left(\frac{q-p}{400 \ell}\right)$$

$$x = X = \frac{2p \ell}{q-p}$$

$$X = \frac{p \cdot \ell}{q-p}$$

الجدول رقم (12-3) يبين ملخصاً لما ذكر سابقاً :

المجلد 12 - 3

إشارة الميل للمماس الثاني	إشارة الميل للمماس الأول	الميل الأتي x بين أعلى أو أسفل نقطة وبين نقطة التماس الأولى
-	+	$X = \frac{pL}{p+q}$
+	-	//
+	+	$X = \frac{pL}{p-q}$
-	-	//
+	+	$X = \frac{pL}{q-p}$
-	-	//

12-5-2 الطريقة التحليلية في اشتقاق معادلة المنحنى المكافئ، [م33] [م52]

نلاحظ من الشكل (12-13) أنه عند نقطة التماس الأولى (BVC) يكون لدينا :

$$x = 0, \quad y = h_{BVC}$$

حيث يمثل (y) منسوب نقطة بداية المنحنى الرأسي (BVC) .

ومن للمعادلة (12-1) يكون لدينا بعد التعويض عن (x) بـ (0,0) :

$$y = ax^2 + bx + c$$

$$y = a(0.0) + b(0.0) + c = 0.0$$

وعليه فإن الثابت c في معادلة المنحنى للكانء يمثل منسوب نقطة بداية للمنحنى

h_{BVC} ، أي تصبح للمعادلة (12-1) :

$$y = ax^2 + bx + \text{Elevation of BVC} \quad (12-12)$$

وبإيجاد المشتق الأول لـ y بالنسبة لـ x في المعادلة (12-12) يصبح لدينا

$$\frac{dy'}{dx} = 2ax + b \quad (12-13)$$

حيث أن ميل للنحن الرأسي عند نقطة بدايته ($x = 0$) يساوي p ولأن هذا
 للميل (p) يساوي أيضا المشتق الأول لمعادلة النحن الرأسي في النقطة $x = 0$ ،
 لذا فإنه بالتعويض عن x بـ صفر في المعادلة (12-13) يصبح لدينا :

$$\frac{dy}{dx} = b = p$$

وبالتالي تصبح للمعادلة (12-13) على الشكل التالي :

$$y = ax^2 + px + h_{ave} \quad \dots\dots\dots(12-14)$$

ولنأخذ الآن المشتق الثاني لـ y بالنسبة لـ x في المعادلة (12-13) :

$$\frac{dy^2}{dx^2} = 2a \quad \dots\dots\dots(12-15)$$

إن هذا المشتق الثاني يمثل معدل التغير (Rate of Change) في النسب وهو،
 أي معدل التغير، كما هو واضح من المعادلة (12-15) الذي يكون ثابتا (2a)
 وهذا ما يميز النحن للكافئ ويجعل استعمله في تصميم مسارات الطرق
 والسكك الحديدية أمرا سهلا .

كما هو مبين في الشكل (12-13) فإن مجموع التغير في الميل هو مقدار الفرق
 بين ميل للملح الثاني q وميل للملح الأول p ، أي $q - p$ ومعدل هذا التغير
 لكل متر طولي على طول للنحن الرأسي الذي طوله 2ℓ يساوي : $\frac{q-p}{2\ell}$.

وعليه يكون :

$$\frac{dy^2}{dx^2} = 2a = \frac{q-p}{2\ell}$$

$$a = \frac{q-p}{4\ell}$$

وبالتعويض عن قيم كل من a , b , c في المعادلة (12-14) يصبح لدينا :

$$y = \frac{q-p}{4\ell} x^2 + px + h_{ave} \quad \dots\dots\dots(12-16)$$

وهذه هي معادلة للنحن للكافئ الرأسي بمماسين متساويين

(Equation of the Equal - Tangent Parabolic Vertical Curve)

حيث :

- * منسوب النقطة للمعيرة ولتكن P من للمنحنى الرأسي (المنسوب النهائي) : $y \dots$
- * للمسافة الأفقية بين النقطة للمعيرة (P) من للمنحنى الرأسي (أي نقطة على للمنحنى الرأسي) ونقطة التماس الأولى BVC (نقطة بداية للمنحنى الرأسي) : $x \dots$
- * ميل (Gradient) للمماس الأيسر (الخلفي) مع أخذ الإشارة الجبرية بعين الاعتبار وعليه فإن $p = + 2\%$ تعني ارتفاع (Rise) للمنسوب بمقدار 2m لكل مسافة أفقية مقدارها : 100m أما $p = - 2\%$ فتعني انخفاض (Drop or Fall) \downarrow للمنسوب بمقدار : 2m لكل مسافة أفقية مقدارها 100m $p \dots$
- * ميل للمماس الأيمن (الأمامي) (Forward Tangent) مع أخذ الإشارة الجبرية بعين الاعتبار : $q \dots$
- * منسوب نقطة التماس الأولى h_{BVC} منسوبة إلى مستوى مناسب مرجعي معين : $h_{BVC} \dots$
- * طول كل من للمماسين الأمامي والخلفي للمنحنى الرأسي ويساوي نصف للمسافة الأفقية بين طرفي للمنحنى الرأسي (نقطتي (BVC, EVC) : $l \dots$

ملحوظات :

- 1 - يُقَدَّرُ للنحنى للكالء (Parabola) من أكثر للنحنيات استعمالاً (شيوعاً) في وصل خطوط للناسيب (Grad Lines) لمشايرع الطرق والسكك الحديدية وذلك نظراً لـ (أ) سهولة حساب للناسيب لنقاطه المختلفة و(ب) ثبات معدل التفور في مناسيب نقاطه للتابعة .
- 2 - يقاس طول للنحنى الرأسي على أساس مسقطه الأفقي (Along the Horizontal).
- 3 - باعتبار أن p هو ميل للملأ الخلفي و q هو ميل للملأ الأمامي (الأمامي يعني هنا أنه باتجاه تزايد المحطات Direction of Stationing) فإن ($q - p$) يُعَدُّ مجموع التفور في الليل (Total Change in Grade) وللقدر $2\ell / (q - p)$ يمثل معدل التفور في الليل لكل متر طولي باعتبار أن 2ℓ يساوي طول للنحنى الرأسي بـالمتر الطولي.
- 4 - إذا أُريد وصل عطي منسوب معين بـنحنى رأسي وكان معدل التفور، $q - p$ معلوماً فيمكن عندها حساب طول للنحنى الرأسي والعكسي صحيح .

3-5-12 الميول الرأسية العظمى في الطرق (Maximum Grades) :

- من بين العوامل الرئيسة التي تحكم عملية الاختيار للميول الرأسية ، نذكر :
- أ - السرعة المختارة في التصميم (Design Speed) .
 - ب - طبوغرافية الأرض التي يخترقها الطريق (Type of Topography) .
 - ج - طول الجزء الخاضع للميل الرأسي .
 - د - توازن كميات الحفر مع كميات الردم (ويدخل في ذلك طبيعة التربة).
- نبين فيما يلي قيماً عملية للميول الرأسية بأخذ السرعة التصميمية وطبوغرافية الأرض بعين الاعتبار مع مراعاة عدم تجاوزها، بالجدول رقم (4 - 12).

وفيما يتعلق بطول الجزء الخاضع للميل الرأسي فإنه لا بد من ربط هذا العامل أيضاً بمقدار الميل الرأسي. وهنا يفضل ، كلما أمكن ذلك ، ألا يتجاوز هذا الطول الحد الذي تضطر معه شاحنة نموذجية عتارة تخفيض سرعتها بمقدار

الجدول رقم 12-4 الميول الرأسية العظمى ، بالمائة، حسب طوبوغرافية

الأرض والسرعة التصميمية

السرعة التصميمية Design Speed Kph	مبسطة Flat %	تلالية Hilly %	جبلية Mountainous %
50	6	7	9
65	5	6	8
80	4	5	7
90	3	4	6
100	3	4	6
110	3	4	5
120	3	4	-
130	3	4	-

يزيد عن أو يساوي 25 kph تقريباً من سرعتها الاعتيادية على جزء مبسط قليل صعودها هذا الجزء للآلح للتحير من الطريق . من الطبيعي أن هذا يعتمد على نوع الشاحنات التي تسلك الطريق موضوع التصميم . فيما يلي بعض القيس العملية العظمى لأطوال أجزاء الطريق، الخاضعة للميول الرأسية والتي تتناسب مع ميول رأسية محددة ، انظر الجدول رقم (5-12) .

الجدول رقم (5-12) الأطوال العظمى للأجزاء الخاضعة للميول

الرأسية حسب قيم الميول الرأسية

مقدار الميل الرأسية (بالمائة) Upgrade, percent	8	7	6	5	4	3
القيمة العظمى لطول الجزء الخاضع للميل Critical Length of Upgrade,m	150	150	175	250	325	500

في الحالات التي يضطر معها إلى تجاوز القيم العظمى للأطول الواردة في الجدول رقم (5-12) أعلاه ، لابد من تعريض هذه الأجزاء من الطريق لضمان حركة السير بشكل اعتيادي إضافة إلى إعطاء حرية أكبر في الحركة للشاحنات الكبيرة وتوفير إمكانية عزل الشاحنات أو تلك التي تتوقف لعدم القدرة على متابعة السير لسبب أو لآخر .

4-5-12 العوامل المشتركة في اختيار طول المنحنى الرأسي :

من العوامل الأساسية التي تحكم اختيار وتحديد طول للمنحنى الرأسي ما يلي:

أ - القوة الطاردة للركنية Centrifugal Force .

ب - مسافة الرؤية Sight or Vision Distance وهذه تعتمد على سرعة العربة وعلى زمن رد الفعل عند السائق التي تقدر بمعدل 0.75 Sec (الفترة الزمنية التي يحتاجها كي يباشر عملية كبح السيارة أو حرفها بعد رؤيته لحاجز متحرك أو ثابت) وكذلك تعتمد على مسافة التوقف (أي للمسافة الدنيا التي تقطعها السيارة اعتبارا من بدء الشروع في وقفها وحتى تتوقف تماما) وهذه تعتمد بدورها على معامل الاحتكاك لسطح الطريق وكذلك على حالة السيارة لليكانيكية وخاصة حالة فراملها، وأخيرا تعتمد مسافة الرؤيا على ارتفاع عين السائق عن سطح الطريق .

وجدير بالملاحظة أن العامل الأول (القوة الطاردة) تلعب دورا أساسيا عندما تكون ميول للماسات خفيفة . أما العامل الثاني (مسافة الرؤية) فيلعب دورا أساسيا في حالة كون ميول للماسات كبيرة نسبيا ومختلفة الانحamات. وفي كل الأحوال فإنه كلما زادت زاوية التدرج Grade Angle أوجب زيادة طول للمنحنى لتعفيف معدل التغير في التدرج وعمليا يكون للمنحنى الرأسي بنصف قطر لا يقل عن 1000m وذلك لدور للتأهب التي قد تنشأ عن القوة الطاردة . فيما يلي أمثلة لأطوال للانحنيات الرأسية :

1000 - 2000 m	- الطرق الثانوية
2500 - 5000m	- الطرق الرئيسية

5000 - 10000m

- الطرق العريضة

15000-20000m

- مهابط للطارات

ملحوظات :

* عندما تكون زاوية التلرج صغيرة أو سرعة العربة منخفضة يكون طول المنحنى الرأسي المطلوب أصغر من مسافة الرؤية وعليه كلما زادت زاوية التلرج تطلب الأمر زيادة طول للمنحنى .

* إن إيجاد طول المنحنى الرأسي هو من صميم موضوع الطرق، وعلى أي حال فإنه في وقتنا الحاضر يؤخذ من جداول معدة خصيصا لهذا الغرض، اعتقت في الاعتبار كل العوامل للوثرة وللشاركة آنفة الذكر .

5-5-12 قيمة متطلبات توقيع المنحنى الرأسي في الطبيعة **Setting-out data** :

لتوقيع المنحنى الرأسي في الطبيعة يلزم تحضير جداول ومعلومات تحدد مواقع وارتفاعات عدد كاف من النقاط للمشكلة للمنحنى الرأسي وقبل البدء في تحضير هذه

الجدول لابد من توافر للمعلومات التالية ، [38م] [45م] [52م]

أ - طول المنحنى الرأسي **Length of the Vertical Curve** وهنا بالطبع يجب عدة أمور ومميزات هندسية سبق الإشارة إليها .

ب - ميل للمماسات **Gradients of the Intersecting Slopes** ويتبع نوع الطريق أو المشروع الهندسي وبالطبع كلما كان مستوى للشروع وفيما قلت ميل للمماسات حيث يتبع هذا إمكانية زيادة السرعة وكذا التقليل من إجهاد محرك العربة، وفي الغالب يكون العنصر الأساسي في تحديد ميل للمماس هو العامل الاقتصادي، حيث يحاول المهندس للمصمم معادلة كميات الحفر مع الردم وعدم تجاوز قدر معين من الليل كي يسهل على العربة والسائق مواصلة السير دون إجهاد محرك العربة وزيادة الحروقات ، وقد سبق أن أشرنا إلى بعض الحلول المقترحة لأنواع مختلفة من الطرق وكذا بحالات متنوعة من السرعة .

ج - منسوب إحدى النقاط المميزة ، مثلا نقطة تقاطع للمماسين ، ونقطة بداية للمنحنى الرأسي ، ونقطة نهاية للمنحنى الرأسي ... الخ .

مثال 12 - 1 :

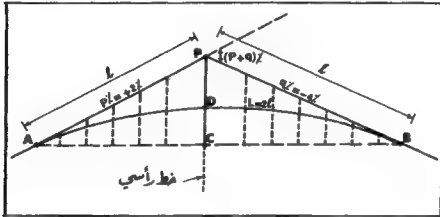
جد للمعلومات اللازمة لتثبيت منحني رأسي هرمي Summit Curve طوله

$L=400m$ بأوتار جزئية مقدارها 20m إذا علمت أن ميل للميل الأول $p\% = 2\%$

وميل الثاني $q\% = -4\%$ وأن منسوب نقطة بداية للمنحني الرأسي A هو :

R.L. of A = 1020.24m

لاحظ الشكل (12-14).



شكل 12 - 14

الحل :

Length of Curve : $L = 2l = 400m$, $l = 200m$

R.L. of A = 1020.24 m

R.L. of P = $1020.24 + (200 \times 2) / (100) = 1024.24m$

R.L. of B = $1024.24 - (200 \times 4) / (100) = 1016.24m$

R.L. of C = $(R.L. of A + R.L. of B) / 2$

R.L. of C = $(1020.24 + 1016.24) / 2 = 1018.24m$

CP = R.L. of P - R.L. of C

CP = $1024.24 - 1018.24 = 6m$

$e = CP / 2 = 6 / 2 = 3m$

أو :

$$e = ((p + q) / 400) \times l$$

$$e = ((2 + 4) / 400) \times 200 = 3m$$

لاحظ أن قيمتي q و p دون اعتبار للإشارة :

$$y = e(X/l)^2$$

الآن بتطبيق القانون :

$$e = 3m, x = 20m, 40m, 60m, \dots, 200m$$

حيث:

لاحظ أنه في نص المسألة يراد تثبيت للنحن بواسطة أوتار أطولها 20 m أي أن النقاط للأعزدة على كل من للمابين تباعد عن بعضها البعض 20 m وبالتالي يكون بعد النقطة الأولى على للمس الأول عن نقطة التماس الأولى 20 m والثانية 40 m والثالثة 60 m إلى أن نصل إلى نقطة التقاطع P حيث يكون بعدها عن نقطة التماس A يساوي طول للمس نفسه ويساوي 200m .

فإذا اعتبرنا أن كل وتر جزئي (التباعد بين نقطة وأخرى على للمس) يساوي وحدة واحدة أي أن :

$$\text{Chord Length} = 20 \text{ m} = 1 \text{ unit}$$

$$\ell = 200\text{m} = 10 \text{ units} \quad \text{فإن :}$$

وعليه تكون قيم x الداخلة في القانون أعلاه : $y = e\left(\frac{x}{\ell}\right)^2$ هي :

$$x = 1 \text{ unit}, 2 \text{ units}, \dots, 10 \text{ units}$$

$$y = e\left(\frac{x}{10}\right)^2$$

وبالتالي :

$$y = 3\left(\frac{x}{10}\right)^2 = 0.03 x^2$$

وعليه نرتب الجدول رقم (6-12) التالي الذي يحدد موقع ومنسوب مجموعة من النقاط التي تشكل للنحن الرأسي المطلوب توقيمه على الطبيعة .

ملحوظات :

- 1 - لاحظ أنه عند الانتهاء من النقاط للأعزدة على للمس الأول نبدأ بأخذ نقاط على للمس الثاني ولكن تكون قيم x مأخوذة على أسس بعد النقطة عن نقطة التماس الثانية B فمثلا النقطة التي تبعد عن نقطة التماس الأول (وفق عشط أو عطسي التماس 240m تكون على بعد 40 m عن نقطة التقاطع P باتجاه نقطة التماس الثانية (B) أي تبعد (240-400) عن B ملاحظ أن طول كل مسن للمابين = 200m وعليه تكون x لهذه النقطة تساوي 160m أي $160/20 = 8 \text{ units}$ (لاحظ الجدول (6-12) وكذلك لاحظ أن أعظم قيمة لـ x هي : $(200/20) = 10 \text{ units}$.

- 2 - لاحظ أن قيم x تتوحد وفق خط التماس وإتنا نحذر أن كل مسافة على التماس تعادل مسقطها الأفقي (حالة اللول الحنيفة) وأن قيم y تتوحد وفق خطوط رأسية فتتوسطها مسافة تقريباً مع خط التماس وهذه للملاحظة تنطبق على كل الحالات وكل الأمثلة السابقة .

الجدول رقم 12-6

(1) Chainage (m)	(2) Distance (x)	(3) Offset= $y=0.3x^2$ (m)	(4) Reduced Level on Tangent (m)	(4)-(3) Reduced level on V.Curve(m)	Remarks
0	0	0.00	1020.24 → R.L. of A	1020.24	Beginning of the curve
20	1	0.03	$1020.24 + 0.02 \times 20 = 1020.64$	$1020.64 - 0.03 = 1020.61$	
40	2	0.12	$1020.24 + 0.02 \times 40 = 1021.04$	$1021.04 - 0.12 = 1020.92$	
60	3	0.27	1021.44	1021.17	
80	4	0.48	1021.84	1021.36	
100	5	0.75	1022.24	1021.49	
120	6	1.08	1022.64	1021.56	
140	7	1.47	1023.04	1021.57	
160	8	1.92	1023.44	1021.52	
180	9	2.43	1023.84	1021.41	
200	10	3.00 = e	R.L. of p = 1024.24	1021.24 (R.L. of D)	Vertex of the Curve
220	9	2.43	R.L. of p = $0.04 \times 20 = 1023.44$	1021.01	
240	8	$0.03 \times (8)^2 = 1.92$	$1024.24 - 0.04 \times 40 = 1022.64$	1020.72	
260	7	1.47	1021.84	1020.37	
280	6	1.08	1021.04	1019.96	
300	5	0.75	1020.24	1019.49	
320	4	0.48	1019.44	1018.96	
340	3	0.27	1018.64	1018.37	
360	2	0.12	1017.84	1017.72	
380	1	0.03	1017.04	1017.01	
400	0	0.00	$1024.24 - 0.04 \times 200 = 1016.24$ (R.L. of B)	1016.26	End of the curve

3 - نأخذ قيم X بالنسبة لنقاط التماس الأول بدءاً من نقطة التماس الأولى A ونأخذ قيم X بالنسبة لنقاط التماس الثاني بدءاً من نقطة التماس الثانية B .

حساب موقع ومنسوب أعلى نقطة :

$$X = \frac{PL}{p+q} \dots\dots\dots (p, q \text{ تدخلان بقيمتيهما للمثلثين})$$

$$X = \frac{2 \times 400}{2+4} = 133.333 \text{ m}$$

أي أن موقع أعلى نقطة (H.P.) من للنحن الرأسي يبعد عن نقطة التماس الأولى A مقدار 133.333m وبالتالي يبعد عن نقطة التماس الثانية B مقدار 266.667 m $400 - 133.333 = 266.667$ الآن لإيجاد منسوب هذه النقطة على للنحن الرأسي دعنا نحسب منسوبها أولاً على للتماس:

$$R.L. \text{ of H.P.} = R.L. \text{ of } A + \frac{133.333 \times P}{100}$$

$$R.L. \text{ of H.P.} = 1020.24 + \frac{133.333 \times 2}{100} = 1022.907\text{m}$$

لنحسب الآن البعد الرأسي بين هذه النقطة وبين للنحن الرأسي أي لنحسب منسوب أعلى نقطة على للنحن لذلك نستخرج أولاً قيمة y التي تقابل $X = 133.333\text{m}$.

$$y = e \left(\frac{X}{l} \right)^2 = 3 \left(\frac{133.333}{200} \right)^2 = 1.333\text{m}$$

$$R.L. \text{ of H.P. on Curve} = R.L. \text{ on Tangent} - y = 1022.907 - 1.333 = 1021.57\text{m}$$

وبالفعل بمراجعة الجدول نلاحظ أن منسوب النقطة التي تبعد مسافة 140m عن نقطة التماس A كان 1021.570m ومنسوب النقطة ذات $X = 160 \text{ m}$ يساوي 1021.520 أي أن النقطة ذات $X = 133.33\text{m}$ هي ذات للنسوب الأعلى ثم يبدأ للنسوب بدءاً منها بالانخفاض تدريجياً.

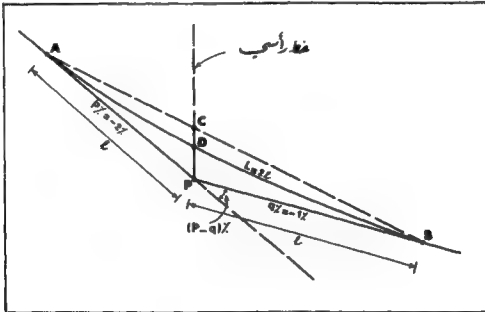
ملحوظة :

يمكن أيضاً تحديد موقع أعلى نقطة (H.P) باستخدام العلاقة : $X = PL/(p-q)$ وذلك بإدخال الإشارة الجبرية لكل من p و q وعليه :

$$X = \frac{2 \times 400}{+2 - (-4)} = \frac{800}{6} = 133.333m$$

مثال 12 - 2 :

جد للبيانات اللازمة لتثبيت منحني رأسي قاعي Sag Curve طوله $L = 200m$ بأوتار جزئية مقدارها $20m$ إذا علمت أن ميل للمماس الأول $P = -2\%$ وميل للمماس الثاني $q = -1\%$ وأن منسوب نقطة تقاطع المماسين PI هو $R.L. of P = 1000m$ ، لاحظ الشكل (15-12) .



شكل 12 - 15

الحل :

$$\text{Length of the Vertical Curve} = L = 2 \ell = 200\text{m} \rightarrow \ell = 100\text{m}$$

$$\text{R.L. of A} = \text{R. L. of P} + \left(\frac{100 \times 2}{100}\right) = 1000 + 2 = 1002\text{m}$$

$$\text{R.L. of B} = \text{R. L. of P} - \left(\frac{100 \times 1}{100}\right) = 1000 - 1 = 999\text{m}$$

$$\text{R.L. of C} = \frac{\text{R.L. of A} + \text{R.L. of B}}{2}$$

$$\text{CP} = \text{R.L. of C} - \text{R. L. of P} = 1000.5\text{ m} - 1000 = 0.5\text{ m}$$

$$\text{R.L. of C} = \frac{1002 + 999}{2} = 1000.5$$

$$e = \frac{\text{CP}}{2} = \frac{0.5\text{ m}}{2} = 0.25\text{ m}$$

أو :

$$e = \frac{p-q}{400} \ell$$

$$e = \frac{2-1}{400} \times 100 = 0.25\text{m}$$

لاحظ أن قيمتي q و p هنا هي بغض النظر عن الإشارة الجبرية :

الآن بتطبيق القانون :

$$y = e \left(\frac{x}{\ell}\right)^2$$

$$e = 0.25\text{ m}$$

حيث :

$$x = 20\text{m}, 40\text{m}, 60\text{m}, \dots, 100\text{m}$$

وإذا اعتبرنا أن كل وتر جزئي (التباعد بين نقطة وأخرى على اللمس) يساوي وحدة ،

$$\text{Chord Length} = 1 \text{ unit} = 20\text{ m} \quad \text{أي أن :}$$

$$\ell = 100\text{m} = 5 \text{ units} \quad \text{فإن :}$$

وعليه تكون قيم x الداخلة في القانون أعلاه : $y = e \left(\frac{x}{\ell}\right)^2$ هي :

x = 1 unit , 2 units , 5 units وبالتالي :

$$y = e \left(\frac{x}{\ell}\right)^2 = 0.25 \left(\frac{x}{5}\right)^2 = 0.01 \quad x^2$$

الجدول رقم (12 - 7) التالي بين مواقع ومناسيب مجموعة النقاط للمشكلة للمنحنى الراسي المطلوب توقيعه على الطبيعة .

جدول 7-12

المحطة أو التدرج (1) Chainage	المسافة مقاسة بالوحدات (2) Distance (x) in units	البعد الراسي بين التماس ونقطة الراسي (3) Offset $y = 0.01 x^2$ (m)	النسوب على التماس (4) Reduced Level on Tangent (m)	النسوب على لنقطة الراسي (3) +(4) Reduced Level on V. Curve (m)	ملاحظات Remarks
0	0	0	1002.00	1002.0	R.L. of A
20	1	0.01	$1002 - (0.02 \times 20) = 1001.60$	$1001.60 + 0.01 = 1001.61$	
40	2	0.04	$1002 - (0.02 \times 40) = 1001.20$	$1001.20 + 0.04 = 1001.24$	
60	3	0.09	1000.80	$1000.80 + 0.09 = 1000.89$	
80	4	0.16	1000.40	1000.56	
100	5	0.25 = e	$1000.00 \rightarrow$ R.L. of P	1000.25	R.L. of D
120	4	0.16	R.L. of P - (0.01) $\times 28 = 999.80$	999.96	
140	3	0.09	R.L. of P - (0.01) $\times 40 = 999.60$	999.69	
160	2	0.04	999.20	999.44	
180	1	0.01	999.00	999.21	R.L. of B
200	0	0.00		999.00	

حساب موقع ومنسوب أخفض نقطة (L.P.) of X and R.L.
حيث أن زاوية التدرج في مثالنا هنا تساوي % (p - q)، لاحظ الشكل (12-15)،
لذا نطبق العلاقة التالية :

$$X = \frac{pL}{p - q}$$

حيث q و p القيم المطلقة للميول ، وعليه :

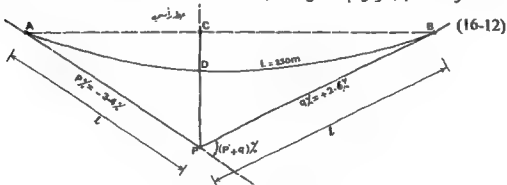
$$X = \frac{2 \times 200}{2 - 1} = 400 \text{ m}$$

وهذه القيمة بالطبع أكبر من طول المنحنى الرأسي بكامله وواضح أنه فيما يتعلق بالمنحنى نفسه فإن النقطة ذات المنسوب الأخفض هي النقطة B عينا أي نقطة التماس الثانية وبالنسبة لمنسوبها فقد سبق أن عيناه ويساوي 999.00m .

مثال 12 - 3 :

يراد تصميم منحنى رأسي قاعي Sag Curve طوله $L = 250\text{m}$ بأوتار جزئية مقدارها 25m إذا علمت أن ميل للماس الأول $p\% = -3.4\%$ وميل للماس الثاني $q\% = +2.6\%$ وأن منسوب نقطة تقاطع الماسين P هو : R.L. of P = 22.60 m

كذلك أوجد منسوب وموقع أخفض نقطة (X and R.L. of Low Point)، شكل



شكل 12 - 16

الحل :

Length of the vertical curve : $L = 250\text{m} \rightarrow \ell = 125\text{m}$

R.L. of A = R.L. of P + $(3.4/100) \times 125 = 22.60 + 4.25 = 26.85\text{m}$

R.L. of B = R.L. of P + $(3.6/100) \times 125 = 22.60 + 3.25 = 25.85\text{m}$

R.L. of C = (R.L. of A + R.L. of B)/2

R.L. of C = $(26.85 + 25.85)/2 = 26.35\text{m}$

CP = R.L. of C - R.L. of P = $26.35 - 22.60 = 3.75\text{m}$

$e = (CP/2) = (3.75/2) = 1.875\text{m}$

أو

$e = ((p + q)/400) \ell = ((3.4 + 2.6)/400) \times 125 = 1.875\text{m}$

لترتب الآن الجدول رقم (8-12) التالي بمواقع ومناسيب مجموعة النقاط المشكلة للمنحني الرأسي المطلوب توقيعه في الطبيعة .

لاحظ أن زاوية التدرج للمماسين تساوي $\% (p + q)$ وأن قيمتي q و p هنا هي بفض النظر عن الإشارة الجبرية .

الآن بتطبيق القانون :

$$y = e \left(\frac{x}{\ell} \right)^2$$

$$e = 1.875\text{m}$$

$$x = 25\text{m}, 50\text{m}, 75\text{m}, \dots, 125\text{m}$$

وإذا اعتبرنا أن كل وتر جزئي يساوي وحدة (unit) واحدة أي أن :

$$\text{Chord Length} = 25\text{m} = 1\text{ unit}$$

فإن

$$\ell = 125\text{m} = 5\text{ units}$$

وعليه تكون قيم x الداخلة في القانون :

$$y = e \left(\frac{x}{\ell} \right)^2$$

هي :

$$X = 1\text{ unit}, 2\text{ units}, \dots, 5\text{ units}$$

وبالتالي :

$$y = e \left(\frac{x}{\ell} \right)^2 = 1.875 \left(\frac{x}{5} \right)^2 = 0.075 x^2$$

جدول رقم 8 - 12

المقطع أو التدرج (1) Chaque	المسافة للدرجة بالوحدة (2) Distance (x)	القيمة الرأسية من المنحني والمنحني الرأسية (3) Cubic y = 0.075 x ³	النسب على المنحني (4) Reduced Level on Tangent	النسب على المنحني الرأسية (3) + (4) Reduced Level on V. Curve	ملاحظات Remarks
0	0	0.000	26.850	26.850	R.L. of A
25	1	0.075	26.850 - (25 × 3.4/100) = 26.000	26.0 + 0.075 = 26.075	
50	2	0.300	26.85 - (50 × 3.4/100) = 25.150	25.15 + 0.30 = 25.450	
75	3	0.675	24.300	24.975	
100	4	1.200	23.450	24.650	
125	5	1.875	22.600	24.475	R.L. of D
150	4	1.200	R.L. of P + (2.6/100 × 25) = 23.250	24.450	
175	3	0.675	R.L. of P + (2.6/100 × 50) = 23.900	24.575	
200	2	0.300	24.550	24.850	
225	1	0.075	25.200	25.375	
250	0	0.000	25.850	25.850	R.L. of B

حساب موقع ومنسوب انخفاض نقطة (X and R.L. of Low Point (L.P.)) :

حيث أن زلوية التدرج في مثالنا هذا تساوي % (p + q)، لاحظ الشكل (12-15)

لذا نطبق العلاقة التالية :

$$X = \frac{pL}{p+q}$$

حيث q و p هي القيم المطلقة للميول بغض النظر عن الإشارة

$$X = \frac{3.4 \times 250}{3.4 + 2.6} = 141.667m$$

أي تبعد عن نقطة التماس الأول (A) بمقدار 141.667 m

كذلك يمكن استنتاجها من العلاقة :

$$X = \frac{pL}{p - q}$$

مع اعتبار الإشارة الجبرية لكل من q و p وعليه :

$$X = \frac{-3.4 \times 250}{-3.4 - 2.6} = \frac{3.4 \times 250}{6} = 141.667m$$

ولحساب منسوب هذه النقطة دعنا أولاً نحسب منسوبها على التماس ويساوي :

$$R.L. \text{ of L.P.} = R.L. \text{ of A} - \frac{3.4}{100} \times 141.667$$

$$R.L. \text{ of L.P.} = 26.85 - 4.817 = 22.033 m$$

لنحسب الآن البعد الرأسى بين هذه النقطة على التماس وبين للنحن الرأسى أي لنحسب

منسوب أخفض نقطة من للنحن لنا نستخرج أولاً قيمة y التي تقابل :

$$X = X = 141.667m$$

$$y = e \left(\frac{x}{l} \right)^2$$

$$y = e \left(\frac{141.667}{125} \right)^2 = 1875 (1.2844) = 2.408m$$

وعليه يكون

$$\text{R.L. of Low Point} = \text{R.L. on Tangent} + y \text{ (offset)}$$

$$\text{R.L. of Low Point} = 22.033 + 2.408 = 24.441\text{m}$$

ملحوظة :

إن موقع انخفاض نقطة أيضاً يكون على مسافة من نقطة التماس الثانية B مقدارها :

$$250 \text{ m} - 141.667 \text{ m} = 108.333 \text{ m}.$$

مثال رقم 12- 4 :

إحسب ورتب المعلومات اللازمة لتوقيع منحنى رأسي وفقاً للمعطيات التالية

بالطريقة التحليلية :

$$\text{Station of PVI} = 1400\text{m}$$

محطة نقطة تقاطع المماسين :

$$\text{Elevation of PVI} = h_{\text{pvi}} = 654.25\text{m}$$

منسوب نقطة تقاطع المماسين :

$$l = 100\text{m} \quad (\text{أي أن طول للمنحنى الرأسي: } 200\text{m})$$

$$P = + 1.25 \%$$

ميل للمماس الأيسر :

$$q = - 2.75 \%$$

ميل للمماس الأيمن :

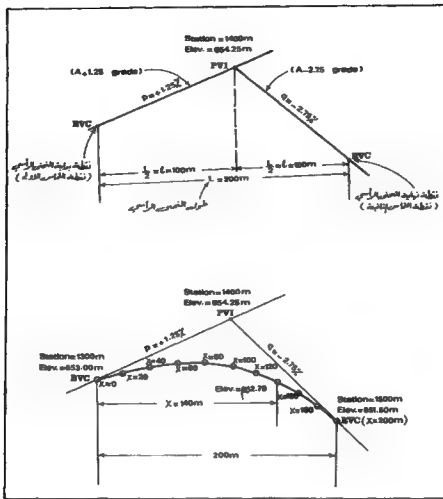
الحل :

يلزم هنا حساب محطة ومنسوب نقطة بداية للمنحنى الرأسي (BVC) وكذلك محطة

ومنسوب نقطة نهاية للمنحنى الرأسي (EVC) . إضافة إلى هاتين النقطتين للمعين يلزم أيضاً

حساب منسوب عند مناسب وكاف من النقاط بينهما وليكن تباعد هذه النقاط 20m،

الشكل (12-17) .



الشكل 12 - 17

تسلسل الحسابات يكون على الشكل التالي :

$$\text{Station PVI} = 1400\text{m}$$

محطة نقطة تقاطع للماسين :

$$- \ell = 0100 \text{ m}$$

يطرح طول للماس :

$$\text{Station EVC} = 1300 \text{ m}$$

ينتج محطة نقطة التماس الأولى :

$$+ 2 \ell = 0200 \text{ m}$$

يضاف طول للمحني الرأسي :

$$\text{Station EVC} = 1500 \text{ m}$$

ينتج محطة نقطة نهاية للمحني

$$\text{Elevation of BVC} = h_{BVC} = 654.25 - 0.0125 (100) = 653.00\text{m}$$

$$\text{Elevation of EVC} = h_{EVC} = 654.25 - 0.0257 (100) = 651.50 \text{ m}$$

$$x = 20, 40, 60, \dots, 180 \text{ m}, 200\text{m}$$

$$y = \frac{q-p}{4\ell} x^2 + px + h_{BVC}$$

$$y = \frac{(-0.0275 - 0.0125)}{4 (100)} x^2 + 0.0125 x + 653.0$$

$$y = -0.0001 x^2 + 0.0125 x + 653.00$$

الآن نقوم بترتيب الجدول رقم (12 - 9) :

ملحوظات :

1 - لاحظ أن معدل التفرد في الليل لكل متر طولي من للنحن الرأسي يساوي :

$$\frac{q-p}{2\ell} = \frac{0.0275 - 0.0125}{2 (100)} = -0.0002 = -0.02\% \text{ per metre}$$

2 - لاحظ أن معادلة للنحن الرأسي مثل هذه للمعطيات في المثال الحالي تكون على

الشكل التالي :

$$y = -0.0001 x^2 + 0.125 x + 653.00$$

3 - كثيراً ما يلزم إيجاد منسوب نقطة على للنحن الرأسي ذات محطة تختلف عن المحطات

للمختارة وللتباعدة بمسافات ثابتة متساوية ، من أجل ذلك نطبق للمعادلة :

$$y = -0.0001 x^2 + 0.0125 x + 653.00$$

على سبيل المثال ، لحساب منسوب النقطة من للنحن الرأسي ذات المحطة 1411.25 m

نطبق للمعادلة السابقة الخاصة بالمثال الحالي وذلك على الشكل التالي :

$$x = 1411.25 - \text{Station BVC} = 1411.25 - 1300 = 111.25 \text{ m}$$

وعليه :

$$y = -0.0001 (111.25)^2 + 0.0125 (111.25) + 653.00$$

$$y = 653.15 \text{ m}$$

جدول رقم 9 - 12

الخط Station	المسافة الكلية (المسافة الباقية) X (m)	X ² (m ²)	$\frac{S-P}{4L}$	(1) $\frac{S-P}{4L} \cdot X^2$ (m)	P	(2) X · P (m)	(3) Bare (m)	المسرب القياسي Y (1) + (2) + (3) (m)	الفرق الأول First Difference m/m	الفرق الثاني Second Difference m/m
BVC = 1300m	00.00	00.00	-0.0001	00.00	+0.0125	00.00	651.00	651.00	0.21	-0.08
1320	20	400	-0.04	-0.04	+0.25	+0.25	651.00	651.21	0.19	-0.08
1340	40	1600	-	-0.16	-	+0.50	-	651.34	0.05	-0.08
1360	60	3600	-	-0.36	-	+0.75	-	651.39	-0.03	-0.08
1380	80	6400	-	-0.64	-	+1.00	-	651.36	-0.11	-0.08
1400	100	10000	-	-1.00	-	+1.25	-	651.25	-0.19	-0.08
1420	120	14400	-	-1.44	-	+1.50	-	651.06	-0.27	-0.08
1440	140	19600	-	-1.96	-	+1.75	-	651.79	-0.35	-0.08
1460	160	25600	-	-2.56	-	+2.00	-	652.44	-0.43	-0.08
1480	180	32400	-	-3.24	-	+2.25	-	652.01	-0.51	-0.08
EVC = 1500 m	200	40000	-	-4.00	-	+2.50	-	651.50	-	-

4 - لاحظ أن مقدار الفرق الثاني يساوي :

$$d^2y/dx^2 = 2a = (q - p)/2 \ell = -0.04/200 = -0.0002/m$$

وعليه يجب أن يكون الفرق الثاني ثابتاً ومساوياً (في الجدول 12-9) :

$$d^2y/dx^2 = -0.0002 (20)^2 = -0.08m \quad \text{: (تباعد المحطات 20 m)}$$

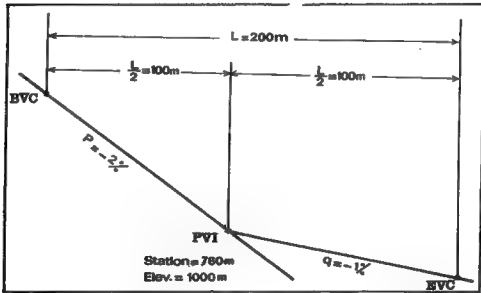
مثال رقم 12 - 5 :

يتقابل عماسا منحني رأسي عند المحطة 780m وللطلب هو ترتيب الحسابات اللازمة بشأن توقيعه في الطبيعة وذلك وفقاً للمعطيات التالية ، الشكل (12-18).

$L = 200 \text{ m}$ طول للنحني الرأسي :

$p = 2\%$, $q = -1\%$ ميلا للماسين :

Elevation of PVI = 1000m منسوب نقطة تقابل (تقاطع) للماسين:



شكل 12 - 18

الحل :

$$\text{Station of PVI} = 780$$

محطة نقطة التقاء المماسين :

$$- \ell = 100\text{m}$$

ي طرح طول للمماس :

$$\text{Station BVC} = 680\text{m}$$

ينتج محطة نقطة بداية للحنين :

$$+2 \ell = 100\text{m}$$

يضاف طول للحنين للرأسي :

$$\text{Station EVC} = 880 \text{ m}$$

ينتج محطة نهاية للحنين للرأسي :

$$\text{Elevation of BVC} = h_{\text{BVC}} = 1000 + 0.02 (100) = 1002.00 \text{ m}$$

$$\text{Elevation of EVC} = h_{\text{EVC}} = 1000 - 0.01 (100) = 999.00 \text{ m}$$

$$x = 20, 40, 60, \dots, 180, 200 \text{ m}$$

$$y = \frac{q-p}{4\ell} x^2 + px + h_{\text{BVC}}$$

$$y = \frac{(-0.01+0.02)}{4(100)} x^2 - 0.02 x + 1002.00$$

$$y = 0.00025 x^2 - 0.02 x + 1002.00$$

الآن نقوم بترتيب الجدول رقم (12 - 10) التالي :

جدول 12 - 10

المحطة Station	المسافة الأفقية (المسافة المسجلة المسبقة) x (m)	الارتفاع Elevation y (m)	الفرق الأول First Difference dy/dx (m)	الفرق الثاني Second Difference d^2y/dx^2 (m)
BVC= 680m	00.00	1002.00	- 0.39	
700	20	1001.61	-0.37	0.02
720	40	1001.24	-0.35	0.02
740	60	1000.89	-0.33	0.02
760	80	1000.56	-0.31	0.02
780	100	1000.25	-0.29	0.02
800	120	999.96	-0.27	0.02
820	140	999.69	-0.25	0.02
840	160	999.44	-0.23	0.02
860	180	999.21	-0.21	0.02
EVC=880m	200	999.00		

لاحظ أن مقدار الفرق الثاني يساوي (على أساس أن تباعد المحطات يساوي 20m) :

$$d^2y/dx^2 = 2a = (q - p)/2 \ell = 0.01/200 = 0.00005/m = 0.00005 (20)^2 = 0.02m$$

مثال رقم 12 - 6 :

احسب ورتب المعلومات اللازمة بشأن توقيع منحني رأسي وفقاً للمعطيات التالية

بالطريقة التحليلية (شكل 12-19) :

$$L = 250 \text{ m}$$

طول للمنحني الرأسي :

$$p = - 3.4 \%$$

ميل للمماس الأيسر :

$$q = +2.6\%$$

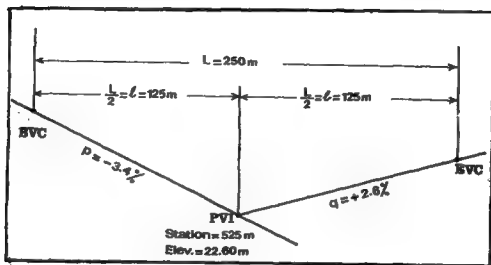
ميل للماس الأيمن :

$$\text{Station of BVI} = 525\text{m}$$

محطة نقطة تقاطع للماسين :

$$\text{Elevation of PVI} = 22.60\text{m}$$

منسوب نقطة تقاطع للماسين :



شكل 12 - 19

الحل :

$$\text{Station of PVI} = 525$$

محطة نقطة التقاء للماسين :

$$- \ell = 125\text{m}$$

يطرح طول للماس :

$$\text{Station BVC} = 400\text{m}$$

يتمح محطة نقطة بداية للنحن :

$$+ 2 \ell = 250\text{m}$$

يضاف طول للنحن الرأسي :

$$\text{Station EVC} = 650\text{ m}$$

يتمح محطة نهاية للنحن الرأسي :

$$\text{Elevation of BVC} = h_{\text{BVC}} = 22.60 + 0.034 (125) = 26.85\text{ m}$$

$$\text{Elevation of EVC} = h_{\text{EVC}} = 22.60 + 0.026 (125) = 25.85\text{ m}$$

$$x = 25, 50, 75, \dots, 225, 250\text{ m}$$

$$y = \frac{q-p}{4\ell} x^2 + px + h_{BVC}$$

$$y = \frac{(0.026+0.034)}{4(125)} x^2 - 0.034 x + 26.85$$

$$y = 0.00012 x^2 - 0.034 x + 26.85$$

الآن نقوم بترتيب الجدول رقم (11 - 12) التالي :

جدول 11 - 12

المحطة Station	المسافة الأفقية (المسافة للمناسبة السينية) x (m)	المنسوب Elevation y (m)	الفرق الأول First Difference dy/dx (m)	الفرق الثاني Second Difference d ² y/dx ² (m)
BVC= 400m	00.00	26.85		
425	25	26.075	-0.775	0.15
450	50	25.45	-0.625	0.15
475	75	24.975	-0.475	0.15
500	100	24.65	-0.325	0.15
525	125	24.475	-0.175	0.15
550	150	24.45	-0.025	0.15
575	175	24.575	+0.125	0.15
600	200	24.85	+0.275	0.15
625	225	25.275	+0.425	0.15
EVC=650m	250	25.85	+0.575	

لاحظ أن مقدار الفرق الثاني (d²y/dx²) يساوي :

$$d^2y/dx^2 = 2a = (q-p)/2\ell = 0.06/250 = 0.00024/m$$

وعليه فيجب أن يكون الفرق الثاني من الجدول (11-12) مساوياً :

$$d^2y/dx^2 = 0.00024 (25)^2 = 0.15m : \quad (\text{تباعد المحطات يساوي } 25m)$$

ملحوظة حول تحديد موقع أعلى أو أخفض نقطة من المنحنى الرأسي

(Location of Highest or Lowest Point)

يعد تحديد موقع (مطة) أعلى أو أخفض نقطة من المنحنى الرأسي أمراً حيوياً وذلك لغايات تحديد المواقع المناسبة للعبّارات والجسور والأقنية المختلفة وكذلك لتعيين الفارق الرأسي أو الخلوص (Clearance) بين سقف جسر أو منشأ معين وسطح الطريق أو للمسار من تحته .

نحن نعلم أن ميل للمنحنى يعطى بمشتقه الأول وعليه فإنه بإيجاد المشتق ومساواته بالصفر يمكن استنتاج المسافة (x) التي تبعدنا النقطة الأخفض أو الأعلى عن نقطة بداية المنحنى الرأسي (BVC) أي :

$$y = ax^2 + bx + c$$

$$y = \frac{q-p}{4\ell} x^2 + px + h_{BVC}$$

للمشتق الأول أو للميل يساوي :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{q-p}{2\ell} x + p$$

ومعادلة معادلة للميل بالصفر يصبح لدينا :

$$\frac{q-p}{2\ell} x + p = 0$$

$$x = \frac{-2p\ell}{q-p}$$

في المثال (12- 6) ، يكون لدينا موقع أخفض نقطة :

$$x = -2(p)(\ell)/(q-p)$$

$$x = -2(-3.4)(125)/6 = 141.67 \text{ m}$$

لنا منسوبها فيساري :

$$y = 0.00012 (x^2) - 0.034 (x) + 26.85$$

$$y = 0.00012 (141.67)^2 - 0.034 (141.67) + 26.85$$

$$y = 24.44 \text{ m}$$

وملاحظة الجدول (11- 12) يتبين لنا أنه لا يوجد منسوب أعظم من هذه القيمة .

مسائل

12 - 1 لماذا نحتاج إلى معرفة موقع ومنسوب أعلى أو أخفض نقطة من المنحنى الرأسي؟

12 - 2 هل هناك حاجة دائمة للمنحنيات الرأسية ؟

12 - 3 على ماذا يعتمد اختيار طول للمنحنى الرأسي ؟

12 - 4 لحسب مقدار زاوية التدرج (ϕ) للحالات التالية :

أ - $q = -2\%$, $p = +3\%$

ب - $q = +3\%$, $p = -2\%$

ج - $q = +1\%$, $p = +3\%$

د - $q = -1\%$, $p = -3\%$

هـ - $q = +3\%$, $p = +2\%$

و - $q = -3\%$, $p = -2\%$

12 - 5 إذا كان التغير للسبوح به في التحدر لكل (20 m) يساوي (0.2 %) وكان ميل

للملأ الأيسر ($p = +1.2\%$) وميل للملأ الأيمن ($q = -2\%$) فكيف يكون

طول للمنحنى الرأسي ؟

12 - 6 على ماذا يعتمد اختيار قيم للميل الرأسية ؟

12 - 7 أيهما أطول: للمنحنى الرأسي في خطوط السكك الحديدية أم للمنحنى الرأسي في

الطرق العادية ؟ ولماذا ؟

12 - 8 أيهما أكثر استعمالاً في للمنحنيات الرأسية ، للمنحنى المكافئ التكميلي أم للمنحنى

للمكافئ التربيعي البسيط ؟ ولماذا ؟

12- 9 هل يتطلب الأمر زيادة طول للمنحنى الرأسي مع زيادة زلوية التدرج أم العكس؟
ولماذا ؟

12-10 ما هي العناصر التي يجب توافرها لتلبية متطلبات توقيع للمنحنى الرأسي في الطبيعة ؟

12-11 ما الذي يحدّ من زيادة طول للمنحنى الرأسي في المرتفعات ؟

12-12 لماذا يحدّ زيادة طول للمنحنى الرأسي في المرتفعات ؟

12-13 لديك منحنى رأسي هرمي (قمة أو تلافي Summit) نسبة الانحدار (Gradient) على للملأ الأول (1st TAN) تساوي : $2.1\% = +p\%$ ونسبة الانحدار على للملأ الثاني : $1.1\% = -q\%$ ، التغير المسموح به في التحدر لكل (20m) يساوي : 0.6% ، محطة نقطة تقاطع للمماسين : 2210m (أي : 22+10) ومنسوب نقطة التقاطع : 870.48 m ، المطلوب :

أ - حساب طول للمنحنى الرأسي

ب - ترتيب جدول بالمعلومات اللازمة لتوقيع للمنحنى في الطبيعة .

ج - التحقق من الحسابات (جد فرق الفرق بين مناسيب نقاط للمنحنى للتالية)

د - حساب موقع ومنسوب أعلى نقطة من للمنحنى الرأسي .

12-14 منحنى رأسي قاعي (Sag) بالمواصفات التالية :

$$q\% = -2\% , \quad p\% = -1.5\%$$

* التغير المسموح في التحدر لكل (20m) يساوي 0.5% .

* محطة نقطة تقاطع للمماسين : 1500 m (أي : 15 + 00)

* منسوب نقطة التقاطع : 600.50 m

المطلوب :

- أ - احسب طول المنحنى الرأسي .
- ب - حساب مناسب العدد اللازم من نقاط المنحنى لفأيات توقيعه .
- ج - حساب محطة ومنسوب أعقبض نقطة من المنحنى .
- د - إجراء التحقيق الحسابي بإيجاد مقلد الفرق الثابت (d^2y/dx^2) .

15-12 المطلوب إعداد جدول متناسيب نقاط منحنى رأسي باستخدام نفس للمعطيات (للملولات Data) الواردة في المسألة (12-13) ولكن على أسس منحنى رأسي تكعبي مكالمء (Cubic Parabola Vertical Curve) وليس منحنى رأسي تريبعي بسيط (Simple Quadratic Parabola Vertical Curve) .

16-12 نفس المطلوب في المسألة (12-15) ولكن باستخدام للمعطيات الواردة في المسألة (12-14) وعلى أسس منحنى رأسي تكعبي مكالمء وليس منحنى رأسي تريبعي بسيط .

17-12 ما الذي يلزم عمله في الميدان بشأن توقيع منحنى رأسي بعد أن يكون قد تم تحضير جدول متناسيب المحطات الممثلة للمنحنى الرأسي وإجراء التحقيق الحسابي اللازم (فحص الحسابات) ؟

- 13 -

- الفصل الثالث عشر -

التمثيل الخطي لكميات الحفر والردم

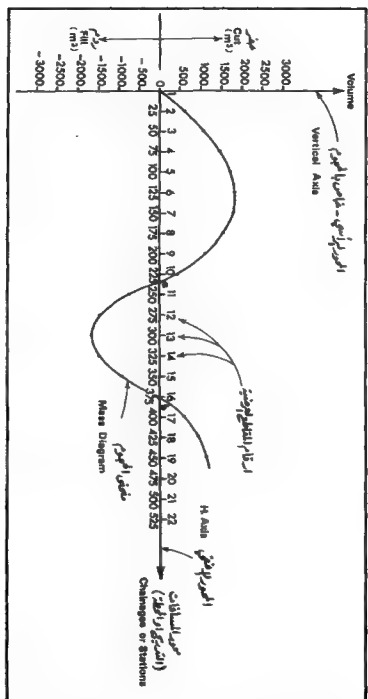
THE MASS DIAGRAM

13- التمثيل الخطي لكميات الحفر والردم وتعيين للتوزيع الاقتصادي ومسافات النقل لها [55م]

بعد أن تعلمنا كيفية حساب مساحات المقاطع العرضية المختلفة لكميات الحفر والردم بينها ، بقي أن نعرف في مشروع طريق أو سكة حديد أو قناة ما مدى القفص في نتائج الحفريات أو مدى القفص في حجم الردميات اللازمة . كذلك من الضروري التعرف على إمكانية نقل الأتربة من منطقة لأخرى بصورة اقتصادية وتعيين مسافات النقل اللازمة وهل هناك ما يعيق حركة نقل هذه الأتربة وما هي نوع المعدات اللازمة ومن أين نأتي بكميات الردم اللازمة أو أين نضع الحفريات الزائدة أو غير الصالحة . في الفقرات التالية ، سنبين الوسائل التي تعين في الإجابة على هذه الأسئلة وما شابهها [11م]

1-13- التمثيل الخطي لكميات الحفر والردم - منحني الحجم (The Mass Diagram)

منحني الحجم هو عبارة عن تمثيل بياني لكميات الحفر والردم اللازمة لمشروع ما . لعمل هذا المنحني نرسم خطاً أفقياً مستقيماً (محور سينات) ونحدد عليه بمقياس مناسب مواقع المقاطع العرضية المتتالية والمتباعدة عن بعضها بمسافات معلومة مبتكرين بالمقطع الخاص بنقطة بداية المشروع . عند كل نقطة ممثلة لموقع مقطع عرضي معين على محور السينات ، نقوم عموداً بطول يمثل - وفق مقياس رسم معين - المجموع الجبري لكميات الحفر والردم حتى ذلك المقطع وذلك على أساس أن الحفر يعتبر موجباً والردم سالباً (أو مجموع الحفر - مجموع الردم حتى ذلك المقطع) ، شكل (1-13-أ) . على سبيل المثال ، في الشكل (1-13) للمجموع الجبري لكميات الحفر والردم من بداية المشروع حتى المقطع العرضي رقم 4 ذي التبريج (Chainage) 75m (أي بعد هذا المقطع عن بداية المشروع مقدماً وفق خط محور المشروع Road Axis or Center Line يساوي 75m) يساوي $1475 m^3 +$ وحيث أنه موجب فمعني هذا أن كميات الحفر تفوق كميات الردم بنفس هذا المقدار ولذا في هذا المقطع . ومن الشكل نفسه أيضاً نلاحظ أن كميات الحفر تتعادل مع كميات الردم عند التقاطعين a و b اللتين تبعدان عن بداية المشروع 378m و 235 على التوالي . كذلك نلاحظ من الشكل



شكل 1-13 - منحنى الحجوم

(1-13) أن المجموع الجبري لكميات الحفر والردم من بداية المشروع حتى المقطع رقم 15 ذي التدرج 350m يساوي 925m^3 - وحيث أنه سالب فيعني هذا أن كميات الردم تفوق كميات الحفر بنفس هذا المقدار ولغاية هذا المقطع .

مثال رقم 1-13

إرسم منحنى الحجم لجزء من طريق بالإستناد إلى الجدول على الصفحة التالية :

الحل

دعنا نمثل المسافة بين بداية المشروع وكل مقطع عرضي على محور أفقي (Horizontal Axis) بمقياس 1 : 2000 ونمثل المجموع الجبري لكميات الحفر والردم لغاية كل مقطع عرضي على محور عمودي (Vertical Axis) بإعطاء 1cm لكل 500m^3 من الحفر أو الردم . لاحظ أن المجموع الجبري السالب لكميات الحفر والردم يمثل أسفل المحور الأفقي والمجموع الجبري الموجب يمثل أعلى الخط الأفقي . يؤخذ المقياس الأفقي (مقياس المسافات بين بداية المشروع والمقاطع العرضية المختلفة) عادة مطابقاً للمقياس الأفقي الخاص برسم المقطع الطولية لغايات نشرحها فيما بعد . نصل بين النقاط الممثلة للمجموع الجبري لكميات الحفر والردم عند كل مقطع عرضي فيشكل لدينا منحنى الحجم المطلوب ، شكل (2-13) .

ملحوظة :

عند ترتيب جدول الحجم ورسم منحنى الحجم ، لم نأخذ بعين الإعتبار عامل التوازن أو ما يسميه البعض عامل الإنكماش أو عامل التضخم الذي ستعرض له فيما بعد .

رقم المنبع	المساحة لواحد درج (m)	حجم الحفر بين كل متلين متلين (m ³)	حجم الردم بين كل متلين متلين (m ³)	المجموع الجبري الحفر والردم بين كل متلين متلين للحفر + والردم - (m ³)	المجموع الجبري للحفر والردم لغاية المنبع المعبر ، أي : مجموع الحفر - مجموع الردم لغاية المنبع المعبر (m ³)
1	0.00		246.1	- 246.1	
2	25		754.4	- 754.4	- 246.1
3	50		1139.8	- 1139.8	- 1000.5
4	75		1935.2	- 1935.2	- 2140.3
5	100		869.2	- 869.2	- 4075.5
6	125		147.6	- 147.6	- 4944.7
7	150		142.4	- 118.5	- 5092.3
8	175	23.9			- 5210.8
9	200	160.8	11.3	+ 149.5	- 5061.3
10	225	541.2		+ 541.2	- 4520.1
11	250	1016.8		+ 1016.8	- 3503.3
12	275	2017.2		+ 2017.2	- 1486.1
13	300	2074.6		+ 2074.6	+ 588.5
14	325	164.4	30.6	+ 133.8	+ 722.3
15	350	119.8	271.4	- 151.6	+ 570.7
16	375	16.1	623.8	- 607.7	- 37.0
17	400		785.2	- 785.2	- 822.2
			926.5	- 926.5	

جدول 1-13 مثال رقم 1-13

18	425		1228.9	- 1228.9	- 1748.7
19	450		1311.6	- 1311.6	- 2977.6
20	475		1489.3	- 1489.3	- 4289.23
21	500				- 5778.5

تكملة الجدول رقم - 1-13

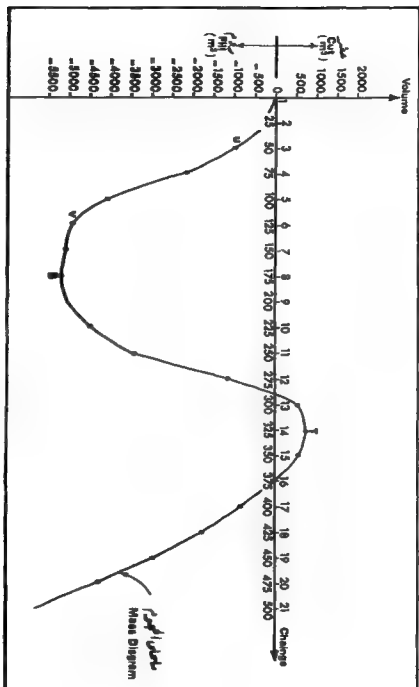
2-13- خواص منحنى التجموع

بملاحظة منحنى التجموع في الشكل (2-13) والجدول الخاص بالمثل (1-13) ، يتبين لنا ما يلي :

1- الميل الموجب للمنحنى يدل على تزايد كميات الحفر أو تناقص كميات الردم والميل السالب يدل على تزايد كميات الردم أو تناقص كميات الحفر ، بكلمات أخرى ، الجزء الصاعد (Rising Curve) من منحنى التجموع يشير إلى منطقة حفر والجزء الهابط (Descending Curve) يدل على وجود منطقة ردم .

2- عندما نصل إلى أعلى نقطة من المنحنى تتوقف كميات الحفر عن التزايد وتبدأ كميات الردم بالتزايد (أي تنتهي من منطقة كلها أو أغلبها حفر وتبدأ بمنطقة كلها أو أغلبها ردم) ، لاحظ النقطة T من المنحنى التي تمثل للتدريج 325m وعندما نصل إلى أخفض نقطة من المنحنى تتوقف كميات الردم عن التزايد وتبدأ كميات الحفر بالتزايد (أي تنتهي من منطقة كلها أو أغلبها ردم وتبدأ بمنطقة كلها أو أغلبها حفر) ، لاحظ النقطة B من المنحنى التي تمثل للتدريج 175m الخاص بالمقطع العرضي رقم 8 .

3- قيمة الأحدثي الصادي (المجموع الجبري للحفر والردم) عند أي نقطة من المنحنى تمثل مقدار الفرق بين كميات الحفر والردم حتى تلك النقطة فإن كان هذا الأحدثي موجباً فمعنى هذا أن كميات الحفر تفوق كميات الردم بنفس القيمة العددية للأحدثي الصادي ولغاية هذه النقطة ، أما أن كان الأحدثي الصادي سالباً فتكون كميات الردم أكبر من كميات الحفر بنفس القيمة العددية للأحدثي الصادي ولغاية هذه النقطة.

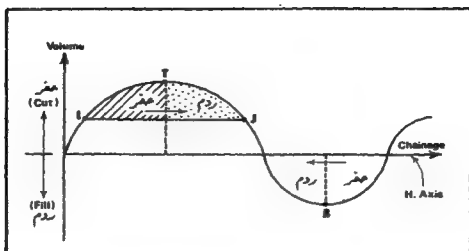


شكل 2-13 - مثال 1-13

4- الفرق بين الأحداثيين الصاديين للنقطتين على منحنى الحجم يمثل كمية الحفر أو الردم الواقعة بين هاتين النقطتين من المشروع شريطة أن يكون المنحنى بين هاتين النقطتين صاعداً أو هابطاً دون إنقطاع (أي لا يوجد بين هاتين النقطتين نقطة أخرى ذات قيمة أعظمية أو أصغرى) . على سبيل المثال ، في الشكل (2-13) الاحداثي الصادي للنقطة u من المنحنى والتي تمثل المقطع العرضي رقم 3 يساوي $1000.5m^3$ - والأحداثي الصادي للنقطة v من المنحنى والتي تمثل المقطع العرضي رقم 6 يساوي $4944.7m^3$ - وعليه فإن كمية الردم الواقعة بين النقطتين v و u أو بين المقطعين المرصيين 6 و 3 تساوي : $(-1000.5) - (-4944.7)$ ، أي $3994.2m^3$ - .

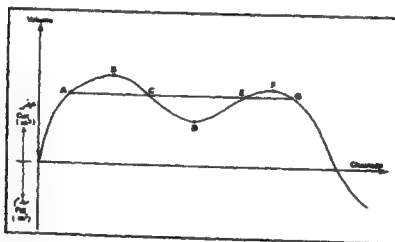
5- يطلق على أي خط لقي يقطع منحنى الحجم في نقطتين بخط التبادل (Balancing Line) . كما يطلق على الجزء المحصور بين خط التبادل ومنحنى الحجم قطاع التبادل (Balancing Sector) . إن كل خط تبادل يقابله نقطة أعظمية (أي نقطة ذات احداثي صادي موجب أعظمي في ذلك الجزء من المنحنى) أو نقطة أصغرى (نقطة ذات احداثي صادي سالب أصغري في ذلك الجزء من المنحنى) . كذلك يكون حجم التربة المحصور بين خط تبادل ما ومنحنى الحجم موزعاً بحيث أن حجم الحفر يساوي حجم الردم . في الشكل (2-13) ، النقطة T تمثل أعلى نقطة من المنحنى (أي إعتباراً من هذه النقطة يتوقف الحفر ويبدأ الردم) . والخط II يمثل خط تبادل وقطاع IT (الجزئان المهدر والمنقط) يمثل قطاع تبادل . لاحظ أن كمية الحفر اللازمة بين النقطتين T و I تساوي كمية الردم اللازمة بين النقطتين J و T والسبب في ذلك هو أن الفرق بين الاحداثيين الصاديين للنقطتين T و I يساوي الفرق بين الاحداثيين الصاديين للنقطتين J و T (لاحظ أن الاحداثيين الصاديين للنقطتين J و I متساويان نظراً لوقوعهما على خط لقي واحد) . الأسهم المبيّنة في نفس الشكل تدل على اتجاه نقل التربة من مواقع الحفر إلى مواقع الردم . لاحظ أيضاً أن نفس المحور الأقي لمنحنى الحجم يعتبر خط تبادل .

6- تقابل أو منطلق الإنقطاع في منحنى الحجم تدل إما على بداية المشروع أو نهايته أو طرف نهر أو واد عميق (حيث يصعب عملياً إجترازه بهدف نقل ناتج الحفريات أو برباد إنشاء جسر) .



شكل - 3-13 -

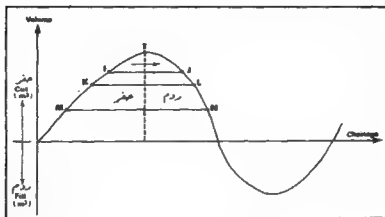
7- إن مساحة أي قطاع تعادل (أي مساحة الجزء المحصور بين خط تعادل ما ومنطقي
الحجوم) تمثل عزم النقل (Haul) اللازم لتوزيع التربة ما بين طرفي خط التعادل لهذا
القطاع . وكلفي عزم النقل هذا مجموع حاصل ضرب حجوم الحفريات الفردية في مسافات
النقل اللازمة لها . في الشكل (4-13) ، على سبيل المثال ، مساحة قطاع التعادل تمثل
عزم النقل لتوزيع التربة بين C و A ومساحة قطاع التعادل CDE تمثل عزم النقل لتوزيع
التربة بين E و C الخ .



3-13- التوزيع الاقتصادي للحفريات

من الضروري في مشاريع الطرق والسكك والمطارات والأبنية وخطوط القوى ، إنجاز أعمال الحفر ونقل والردم اللازمة بشكل مدروس ومنظم ويقلل التكاليف . من الواضح أنه إذا كانت كميات الحفر تتعامل مع كميات الردم وكلفت مسافات النقل لمسيرة أو مقبولة ، كان هذا موالحلاً الإقتصادي المنشود . عموماً ، على كل حال ، لا يكون هذا الحل دائماً في متناول اليد إذ تزيد أحياناً كميات الحفر عن كميات الردم المطلوبة مما يضطرنا إلى نقلها لأماكن مناسبة بجوار الطريق أو بعيداً عنها حسب ما تسمح به شروط الطريق . وقد تزيد أحياناً أخرى كميات الردم المطلوبة عن كميات الحفر المتوفرة فتضطر للبحث عن مصادر للتربة الصالحة للردم . هذه المصادر قد توجد ضمن حرم الطريق (لشريط الممتلكات للطريق) أو بعيداً عنه . إن تكاليف حفر التربة ونقلها إلى مواقع الردم ضمن أو خارج شريط الطريق تؤثر كثيراً على تكاليف المشروع . من العجيب أن تكاليف النقل تكون أصغر إذا استعملت كميات الحفر في مطلع ما الردم في نفس القطع ، أي إذا كان توزيع التربة عرضياً حيث في هذه الحالة يمكن نقل التربة بواسطة المجرفة اليدوية أو بالمجرفة الميكانيكية أو بالعربة وعادة تستخدم الآلات الحديثة مثل الـ *bulldozers* لنقل هذه الأعمال . وفي كل الأحوال يجب عدم استعمال تربة الحفر الردم إذا كانت هذه التربة غير صالحة ومقاومتها ضعيفة . إن منحنى الحجم يقدم في هذا المجال خدمات كبيرة ومفيدة إذ بواسطته يمكن معرفة كميات الحفر الزائدة وكميات الردم اللازمة ومسافات النقل المستترة اللازمة لتحريك التربة من مواقع الحفر إلى مواقع الردم . على سبيل المثال ، في الشكل (3-13) ، الخطوط الاقنية MN و KL و IJ هي خطوط تماثل ولكنها ذات موازات متوازية فالخط IJ يتطلب نسبياً مسافة نقل أصغر لكميات ترابية محدودة بينما الخط KL يستوجب مسافة نقل أطول لكميات ترابية أكبر أيضاً . كذلك الخط MN يتطلب مسافة نقل أكبر مما يتطلبه كل من الخطين السابقين . على كل حال ، ليس من الضروري أو الحكمة دائماً إستخدام جميع نتائج الحفر (ضمن المشروع) لأغراض الردم وذلك لسببين رئيسيين أولهما أنه قد لا تصلح جميع مادة التربة المحفورة لعملية الردم وثانيهما أنه قد تكون مسافة النقل (*haul distance*) لبعضها كبيرة وبالتالي باعظة التكاليف . في مثل هذه الظروف ، يجري جلب الكميات اللازمة من الردم من مواقع صالحة ومجاورة وقريبة ما يمكن (*Borrow Pits*) وكذلك نقل الكميات الفائضة أو غير الصالحة أو البعيدة من الحفريات إلى مواقع قريبة ومناسبة خارج شريط المشروع (*Suitable Tips*) . إن لا بد أولاً من تحديد المواقع المناسبة لتزويد الردم (*Borrow Pits*) وفي ضوء ذلك يجري

رسم سلسلة من خطوط التعداد لنحدد على أساسها نسب الأملكن التي يمكن أن تمدنا بكميات الردم المطلوبة ونسب الأملكن التي يمكن تجميع ما لا يلزم من الحفر فيها [25م] .



شكل 5-13

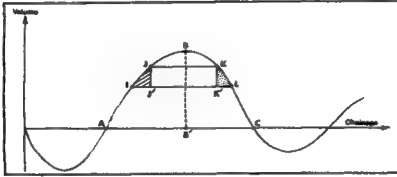
ملحوظة :

عند طرح عطاء الأعمال الترابية لطريق أو مشروع ما فإنه يجري عادة إختيار أحد طرين ، فلما أن يضع الممتد سعراً إجمالياً (Lump Sum) لأعمال الحفريات والردميات بحيث يوزع ناتج الحفريات حيثما يراه مناسباً ولا بد أنه يستخدم منحنى الحجم لمساعدته على إختيار أكثر الحمول إقتصادياً ، ولما أن يضع الممتد سعره على أساس تكلفة حفر ونقل المتر المكعب الواحد لمسافة محددة (لا تزيد عن 150m على سبيل المثال) وهنا تكون تكلفة للنقل لهذه المسافة (أو دونها) المحددة في العطاء مشمولة في سعر الحفريات . يطلق على مسافة النقل هذه بحدود النقل المجاني (Limit of Free Haul) كذلك ينص في وثائق العطاء على أجرة المتر المكعب الواحد لأي مسافة تزيد عن حدود النقل المجاني . قد يشترط ، على سبيل المثال ، دفع 0.1 J.D. لنقل وحدة الحجم (m^3) لكل 50m زيادة عن حدود النقل المجاني. يطلق على هذا البند بالنقل الزائد (Overhaul) . فيما يتعلق بأعمال الردم فيمكنني في غالب الأحيان بكتابة نص معين وكفل وضع ناتج الحفريات في مواقع الردم اللازمة حسب توجيهات المهندس المشرف .

4-13- تعيين المسافات الوسطى للنقل

في الشكل (6-13) المحور الأفقي لمنحنى الحجم يمثل كأي خط أفقي آخر -خط تعادل وبالتالي فإن السطح ABC المحصور بين خط التعادل AC والخط ABC من منحنى الحجم يمثل قطاع تعادل نظراً لتعادل كميات الحفر والردم بين المقطعين C و A بالنسبة للخط الأفقي أو خط التعادل AC . دعنا نرسم الخطوط الأفقيين IL و JK ضمن قطاع التعادل ABC وعلى مسافة صغيرة جداً من بعض. من الواضح أن حجم الحفر JJ' يعادل حجم الردم KK' وأن مسافة النقل الوسطى δ التي تلزم لنقل التربة من منطقة الحفر بين J و I (الجزء المهدر في الشكل 6-13) إلى منطقة الردم بين L و K (الجزء المنقط في الشكل 6-13) تساوي :

$$\delta = \frac{JK + IL}{2}$$



شكل 6-13.

يطلق على حاصل ضرب حجم الحفر JJ' (أي كمية الحفر المراد نقلها والواقعة بين المقطعين J و I) في المسافة الوسطى δ اللازمة لنقله وتوزيعه بين المقطعين L و K بوزن النقل للحجم JJ' وعليه إذا رمزنا به JJ' η لنرمز لنقل الحجم JJ' فلن :

$$\eta JJ' = JJ' \cdot \delta$$

$$\eta JJ' = JJ' \left(\frac{JK + IL}{2} \right) = \text{Area of Trapezoid IJKL}$$

أي إن سطح شبه المنحرف IJKL يمثل المزم للمجم الجزئي JJ' . حيث إن السطح ABC يمثل تكاملاً لسطح شبه المنحرف الصغير IJKL :

$$\text{Area of ABC} = \int \text{Area of IJKL}$$

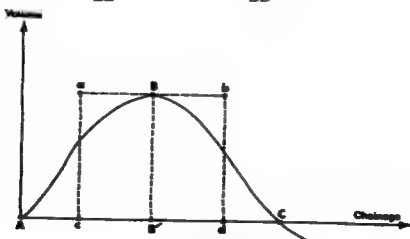
إذن لا بد أن يكون هذا السطح (ABC) ممثلاً لمزم النقل η للمجم BB' وعليه إذا رمزنا Δ للمسافة الوسطى اللازمة لنقل حجم الحفر BB' (أي حجم الحفر الكلي المراد نقله والواقع بين المقطعين B و A) وتوزيعه بين المقطعين C و B يكون لدينا :

$$\text{Area of ABC} = \Delta \cdot \text{BB}'$$

$$\Delta = \frac{\text{Area of ABC}}{\text{BB}'}$$

أي أن المسافة الوسطى للنقل تساوي مساحة قطاع التماس مقسومة على حجم التربة أو الحفر المراد نقله وتوزيعه ضمن قطاع التماس هذا . لاحظ أننا إذا حولنا القطاع ABC إلى مستطيل مكافئ له في المساحة وارتفاعه مساوٍ لـ BB' فتكون المسافة الوسطى مساوية لقاعدة هذا المستطيل . على سبيل المثال ، في الشكل (7-13) ، إذا كان المستطيل abcd ذو الارتفاع BB' مكافئاً في المساحة للقطاع ABC فإن المسافة الوسطى اللازمة لنقل حجم الحفر BB' (كميات الحفر الواقعة بين المقطعين B و A) وتوزيعه في منطقة الردم بين المقطعين C و B تساوي ab أي قاعدة هذا المستطيل .

$$\Delta = \frac{\text{Area of Rectangle abcd}}{\text{BB}'} = \frac{ab \times \text{BB}'}{\text{BB}'} = ab$$



شكل 7-13

مما سبق نستنتج ما يلي [م 30]

1- مساحة قطاع التبادل (المساحة المحصورة بين خط التبادل ومنحنى الحجوم) تكافئ عزم النقل (Haul) لحجم التربة المراد نقلها وتوزيمها ضمن قطاع التبادل هذا . إن عزم النقل هذا يساوي مجموع حاصل ضرب حجوم الحفريات الفردية ضمن قطاع التبادل في مسافات النقل اللازمة لها .

2- تعتبر مساحة قطاع التبادل مؤشراً على حجم وتكاليف العمل المطلوب وأن التناسب بينهما طردي .

3- في الحالات التي توضع فيها خطوط التبادل بأشكال مختلفة وجيدة ، يكون لفصل الأوضاع ذلك الذي تكون معه المساحات المحصورة بين منحنى الحجوم وخطوط التبادل أصغرية.

دعنا نفترض الآن أن لدينا عدد n من الكتل الترابية المراد حفرها ونقلها إلى مواقع الردم المخصصة لها وأن الوزن لجميع هذه الكتل الترابية هو نفسه (كما هو الحال عادة في تربة الطرقات) وأن V_1 و V_2 و $V_3 \dots V_n$ تمثل الحجوم الخاصة بهذه الكتل . كذلك لرمز b K للسعر المشترك لنقل وحدة الحجم لمسافة تساوي وحدة الطول ($1m$) فإذا ما نقلت هذه الحجوم إلى المسافات الوسطى $\delta_1 \dots \delta_2 \dots \delta_3 \dots \delta_n$ يكون عندها السعر الكلي C للنقل مساوياً :

$$C = K (\delta_1 V_1 + \delta_2 V_2 + \delta_3 V_3 + \dots + \delta_n V_n)$$

$$C = K \sum_{i=1}^{i=n} \delta_i V_i \dots \dots \dots (1-13)$$

لكن ، كما مر معنا - عزم النقل لأي حجم يساوي حاصل ضرب هذا الحجم في المسافة الوسطى اللازمة لنقله وبالتالي إذا رمزنا بـ η_1 لعزم النقل الخاص بالحجم V_1 وبـ η_2 لعزم النقل الخاص بالحجم $V_2 \dots$ وهكذا فتصبح المعادلة (1-13) على الشكل :

$$C = K (\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \dots + \eta_n)$$

$$C = K \sum_{i=1}^{i=n} \eta_i \dots \dots \dots (2-13)$$

إن مقدار $\sum_{i=1}^{i=n} \eta_i$ يمثل العزم الكلي للنقل .

في المعادلة (1-13)، إذا استخدمنا مسافة نقل وسطي مشتركة Δ لجميع الحجوم بدلاً من المسافات الوسطى الفردية δ_1 و δ_2 و و δ_n فإن حاصل ضرب المسافة المشتركة Δ بسعر الوحدة المشترك K وبمجموع $\sum V_i$ يؤدي إلى نفس السعر الكلي الناتج من المعادلة (1-13)، أي أن :

$$C = K \sum_{i=1}^{i=n} \delta_i V_i = K \cdot \Delta \sum_{i=1}^{i=n} V_i$$

وعليه فإن مسافة النقل الوسطى المشتركة Δ لجميع الحجوم تساوي :

$$\Delta = \frac{K \sum_{i=1}^{i=n} \delta_i V_i}{K \sum_{i=1}^{i=n} V_i}$$

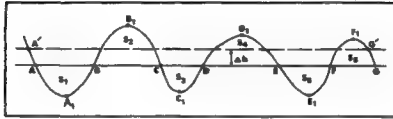
$$\Delta = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \delta_i V_i}{\sum_{i=1}^{i=n} V_i} \dots\dots\dots (3-13)$$

أو :

$$\Delta = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \eta_i V_i}{\sum_{i=1}^{i=n} V_i} \dots\dots\dots (4-13)$$

5-13- تعيين خطوط التبادل التي تجعل تكاليف النقل أصغرية

في الشكل (8-13) ليكن لدينا خط التبادل المستمر والذي يقطع منحنى الهجوم في النقاط G و F و E و D و C و B و A مشكلاً مقاطعات FF1G و EE1F و DD1E و CC1D و BB1C و AA1B ذات السطوح S6 و S5 و S4 و S3 و S2 و S1 على التوالي. إن هذه السطوح المقاطعات التبادل تمثل عزوم النقل لها وبفرض أن C1 و C2 و C3 و C4 و C5 و C6 تمثل أسعار النقل الأولية (أي سعر نقل وحدة الحجم لمسافة وحدة الطول ضمن كل قطاع) المقاطعات التبادل على التوالي فيصبح السعر الكلي للنقل C اكتمل الجزء من المشروع الممتد من المقطع A إلى المقطع G مساوياً [33م]



شكل 8-13

$$C = C_1S_1 + C_2S_2 + C_3S_3 + C_4S_4 + C_5S_5 + C_6S_6$$

$$C = \sum_{i=1}^n C_i S_i \dots\dots\dots (5-13)$$

وإذا رمزنا بـ η_1 و η_2 و η_3 و η_4 و η_5 و η_6 لعزوم النقل الخاصة بمقاطع التبادل، يمكننا أن نكتب أيضاً :

$$C = C_1\eta_1 + C_2\eta_2 + C_3\eta_3 + C_4\eta_4 + C_5\eta_5 + C_6\eta_6$$

$$C = \sum_{i=1}^n C_i \eta_i \dots\dots\dots (6-13)$$

ماذا سيحدث الآن إذ زلقنا خط التبادل AG للأعلى بمسافة صغيرة جداً Δh ؟ في الواقع سيأخذ خط التبادل الوضع الأثني الجديد 'A'G' وتتغير تبعاً لذلك مساحات قطاعات التبادل ، فيعضها يزيد والبعض الآخر ينقص . وبالتحديد سترداد مساحات السطوح $S5$ و $S3$ و $S1$ بالمقادير Δh . EF ، Δh . CD و Δh . AB على التوالي وستنقص مساحات السطوح $S6$ و $S4$ و $S2$ بالمقادير Δh . FG و Δh . DE و Δh . BC على التوالي . ينشأ عن زيادة المساحات زيادة في سعر النقل قدرها :

$$\Delta h . AB.C1 + \Delta h . CD.C3 + \Delta h . EF.C5$$

أي $\Delta h (AB.C1 + CD.C3 + EF.C5)$.
كذلك سيحدث نقصان في سعر النقل وقدره :

$\Delta h (BC.C2 + DE.C4 + FG.C6)$
وسيكون مقدار التغير ΔC في سعر النقل الكلي مساوياً :
 $\Delta C = \Delta h (AB.C1 + CD.C3 + EF.C5 - BC.C2 - DE.C4 - FG.C6)$
 ∂C
عندما ينعدم المشتق (———) ينتج لدينا السعر الكلي الأصغري للنقل ، أي :

$$\frac{\partial C}{\partial h} = AB.C1 + CD.C3 + EF.C5 - BC.C2 - DE.C4 - FG.C6 = 0$$

أو :

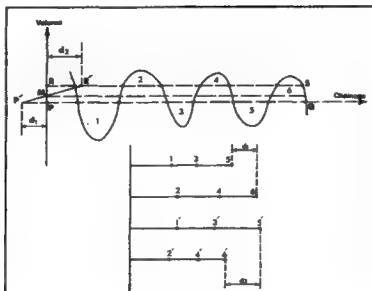
$$AB . C1 + CD . C3 + EF.C5 = BC . C2 + DE . C4 + FG . C6$$

وهذا هو الوضع الذي يجب أن يأخذه خط التبادل AG حتى يكون السعر الكلي للنقل أصغرياً .
ملحوظات :

1 . إذا كانت أسعار النقل لمختلف قطاعات التبادل متساوية ، أي $C3 = C4 = C5 = C6$ ،
 $C1 = C2$ فيكون الشرط الذي يحقق السعر الكلي الأصغري للنقل هو :
 $AB + CD + EF = BC + DE + FG$ (7-13)

ويمكن بيان هذا تخطيطياً على الشكل التالي :
دعنا نرسم خط تبادل مثل PQ ، شكل (9-13) حيث يقطع منطى المحجم في وضع يكون معه مجموع أطوال خطوط التبادل للقطاعات 5 و 3 و 1 أصغر من مجموع أطوال خطوط التبادل للقطاعات 6 و 4 و 2 . أقل أطوال خطوط التبادل الناتجة للقطاعات 5 و 3 و 1 بشكل متتابع على خط مستقيم منفصل وكذلك أقل خطوط التبادل الناتجة للقطاعات 6 و 4 و 2

على خط مستقيم ثان آخر كما هو مبين في الجزء السفلي من الشكل (9-13) . ليكن الفرق بين مجموع أطوال خطوط التماسل للقطاعات 5 و 3 و 1 ومجموع أطوال خطوط التماسل للقطاعات 6 و 4 و 2 مساوياً للطول d_1 الآن نمد خط التماسل PQ لجهة اليسار بدءاً من النقطة P على محور الحجم بمقدار هذا الطول d_1 ، أي $PP' = d_1$.



شكل 9-13

الآن دعنا نرسم خط توزيع آخر RS بحيث يقطع منحنى الحجم في وضع يكون معه مجموع أطوال خطوط التماسل للقطاعات الجديدة 5' و 3' و 1' (القطاعات المحصورة بين منحنى الحجم وخط التماسل الجديد RS وهي غير مرقمة على الشكل) أكبر من مجموع أطوال خطوط التماسل للقطاعات الجديدة 6' و 4' و 2' المحصورة أيضاً بين منحنى الحجم وخط التماسل الجديد RS) . ننقل أطوال خطوط التماسل الناتجة للقطاعات 5' و 3' و 1' بشكل متتابع على خط مستقيم ثالث منفصل وكذا ننقل أطوال خطوط التماسل الناتجة للقطاعات 6' و 4' و 2' على خط مستقيم رابع منفصل وليكن الفرق بين مجموع أطوال خطوط التماسل للقطاعات 5' و 3' و 1' ومجموع أطوال خطوط التماسل للقطاعات 6' و 4' و 2' مساوياً للطول d_2 . الآن نتأخذ هذا البعد d_2 على خط التماسل RS بدءاً من النقطة R على محور الحجم ولجهة اليمين ، أي $RR' = d_2$. الآن نصل النقطتين R' و P' فيقطع الخط الواسل بينهما محور الحجم في النقطة M . نرسم من M خطاً أفقياً فيكون بمثابة خط التماسل المطلوب والذي يجعل سعر النقل الكلي أصغرياً .

في الحالات التي ينقص فيها حجم الحفر عن حجم الردم أو يتساوى الحجمان ولكن على مسافات نقل كبيرة ، يصبح من الضروري التفتيش على تربة صالحة للردم من منطلق قريبة جداً بحيث يصبح المقدار $V = C_o + \delta \cdot V + C_x$. أصغرياً حيث ترمز C_x إلى السعر الأولي (سعر نقل وحدة الحجم ، m^3 ، لمسافة وحدة الطول ، m) النقل (Handling) وترمز C_o إلى السعر الأولي للحفر (سعر وحدة حفر الحجم) أما δ ترمز إلى المسافة الوسطى للنقل كما ترمز V إلى الحجم المحفور . في الحالات التي تتوفر فيها كميات الحفر على مسافات بعيدة من مناطق الردم اللازمة ، فيستحسن نقل هذه الكميات إلى مستودعات خاصة على جوانب الشريط المستلك (حرم الطريق) إذا سمحت ظروف الطريق بذلك والا فلا بد من نقلها لمناطق بعيدة مناسبة مما يزيد في تكاليف الأعمال الخرافية [84] .

مثال رقم 13-2

ما هو الحد الأعظمي الاقتصادي لمسافة النقل إذا علمت أن سعر حفر ونقل المتر المكعب للواحد لمسافة 150m أو دون ذلك يساوي J.D. 0.1 وسعر نقل المتر المكعب الواحد لكل 50m زيادة عن 150m يساوي J.D. 0.025 ؟

الحـل :

إن مسافة لنقل الأعظمية الاقتصادية x هي تلك المسافة التي تتساوى معها تكاليف الحفر والنقل مما من منطقة الحفر إلى منطقة الردم ضمن المشروع ذلك مع تكاليف الحفر والنقل مرتين (مرة لحفر الكمية من موقعها ضمن المشروع ونقلها إلى مستودع مجاور على جانب الطريق لا يبعد أكثر من 150m ومرة أخرى لحفر ونقل نفس الكمية من موقع إمداد (Borrow Pit) مناسب لا يبعد أكثر من 150m عن مواقع الردم المطلوب) ، أي :

$$0.1 + \frac{x - 150}{50} \times 0.025 = 2 (0.1)$$

$$0.1 + \frac{0.025x - 3.75}{50} = 0.2$$

$$0.025x = 8.75 \quad , \quad x = 350m$$

وعليه إذا زادت المسافة عن 350m فإن تكاليف الحفر والنقل ستزيد عن J.D. 0.2 وبالتالي ستزيد عن تكاليف الحفر والنقل مرتين لمسافة تقل عن 150m ، أما إن نقصت مسافة النقل عن 350m فإن تكاليف الحفر والنقل معاً ستكون أرخص من J.D. 0.2 (على سبيل المثال ، إذا كانت مسافة النقل 300m فإن تكاليف الحفر والنقل معاً تساوي :

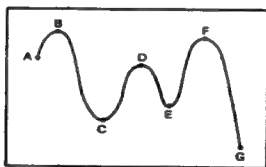
$$0.1 + \frac{300 - 150}{50} \times 0.025 = 0.175 \text{ J.D.}$$

ملحوظة :

إن هذا الحل يستند على وجود تربة صالحة للردم ضمن حرم الطريق ولا يعتمد بكثير من 150m عن مواقع الردم ، أما إذا لم تتوفر تربة صالحة للردم في حدود هذه المسافة أو تطلب الأمر شراءها ، فندها تزداد المسافة الأعظمية الاقتصادية للنقل وبإمكانك أن تتخيل ذلك بسهولة .

مثال رقم 13-3

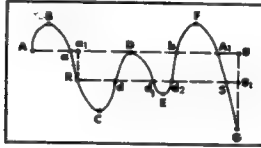
عين خط أو خطوط التعادل الأكثر ملاءمة لمنحنى الهجوم في الشكل (13-10) .



شكل 13-10-

الحل :

حيث أن التفتين G و A ليستا على خط أفقي واحد ، شكل (11-13) ، فلا تتعامل كميات الحفر مع كميات الردم . كذلك لو رسمنا خط التبادل AA₁ لوجدنا أن : $aD + bA_1 < aD + Db$ وبالتالي فإن هذا الخط لا يحقق شرط السعير الكلي الأصغري للنقل (لاحظ المعادلة (7-13) والشكل (8-13)) . على كل حال ، هناك حاجة لحجم من التربة الصالحة للردم مقداره Gg من إحدى مواقع الإمداد (Borrow Pits) قريبة من موقع الردم بين المقطعين G و A₁ ، أما في المنطقة الواقعة بين المقطعين A₁ و A فكميات الحفر تتعامل مع كميات الردم بالنسبة لخط التبادل أو التوزيع AA₁ .



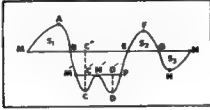
شكل 11-13-

ملحوظة :

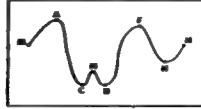
إذا كان سحر حفر ونقل التربة المستعمارة من مواقع الإمداد للجزء من الطريق الواقع بين المقطعين G و A₁ كبيراً بسبب بعض الشروط المحلية أو غيرها ، فيمكن عندها اللجوء إلى خط التبادل الجزئي AA₁ بالإضافة إلى خط التوزيع الرئيسي RS الذي يحقق شرط النقل الأصغري $Rd + d_1d_2 = dd_1 + d_2S$. ينتج عن خط التبادل الجزئي AA₁ حاجة إلى كمية من الردم مقدارها Ra₁ تأتي بها من إحدى مواقع الإمداد القريبة والمناسبة . كما ينتج عن خط التبادل الرئيسي RS حاجة إلى كمية من الردم مقدارها Gg₁ تأتي بها أيضاً من إحدى مواقع الإمداد المناسبة.

مثال رقم 4-13

أرسم خط أو خطوط التبادل المنعني للحجوم المبين في الشكل (12-13) .



شكل 13-13 -



شكل 12-13 -

الحل :

من الواضح أنه يلزم أكثر من خط تبادل لهذا المنعني من الحجوم فلنأخذ خط التبادل الرئيسي MN ، شكل (13-13) ، الذي يحقق لنا التبادل السطوح S_1 و S_2 و S_3 وخط التبادل الثانوي $M'P$ الذي يحقق لنا التبادل بين M' و N' وبين P و N' . لاحظ أن حجم الردم بين B و M' يعادل كمية الحفر بين P و E ، أي أن المنطقة $BM'CN'DPE$ هي منطقة تعادل فيها نهائين هما C و D .

مثال رقم 5-13

في المثال رقم (4-13) ، ما هي المسافات الوسطى النقل في منطقة التبادل $BM'CN'DPE$ ؟ وما هو مقدار الحجم الكلي المنقول في هذه المنطقة ؟

الحل :

المسافة الوسطى δ_1 النقل في قطاع التبادل $M'CN'$ هي :

$$\delta_1 = \frac{\text{Area of } M'CN'}{\text{Volume } CC'}$$

المسافة الوسطى δ_2 للنقل في قمعاع للتعادل $N'DP$ هي :

$$\delta_2 = \frac{\text{Area of } N'DP}{\text{Volume } DD'}$$

المسافة الوسطى δ_3 للنقل في المنطقة المحصورة بين الخطين الأتقيين (خطي تعادل) $M'P$ و BE ومنحنى الحجم ، أي المنطقة $BM'PE$ ، تساوي :

$$\delta_3 = \frac{\text{Area of } BM'PE}{\text{Volume } C'C''}$$

أما الحجم الكلي المنقول V_t في المنطقة $BM'CN'DPE$ فيساوي :

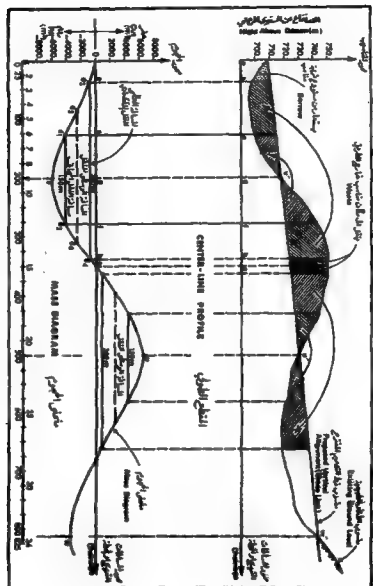
$$V_t = CC' + C'C'' + DD'$$

$$V_t = CC'' + DD'$$

مثال رقم 6-13

الجزء العلوي من الشكل (14-13) ، يبين منسوب الأرض للطبوغرافية (Existing Ground Level) وفق محور الطريق المقترح وكذلك يبين منسوب خط التصميم المقترح أو وضع محور الطريق في المستوى الرأسي (Proposed Vertical Alignment) . أما الجزء السفلي من الشكل (14-13) ، فيبين منحنى الحجم المتناسب مع التصميم المقترح للطريق . بدراسة المقطع الطولي للطريق (Center-Line Profile) ومنحنى الحجم (Mass Diagram) التابع له يمكن إستنتاج ما يلي :

- 1- بإفتراض أن مسافة النقل المجاني (Free Haul) تساوي 150m والحد الأعظمي الإقتصادي للنقل (Economical Limit of Haul) 300m فإنه من المنصوح به إستعارة كمية الردم اللازمة بين المحطة صفر والمحطة 40m (النقطة a من محور المسافات) من مستودع (موقع إمداد للتربة الصالحة للردم) قريب بدلاً من نقل كمية الحفر المعادلة لها والواقعة بين المحطتين 350m و 340 (النقطتان c و a على محور المسافات) .



شكل 14-13 - مخطط 13-6

لاحظ أن تعامل كميات الحفر والردم بين المحطتين 350 و 0 لا يعني ثبوتياً أن التكاليف الكلية للحفر والنقل أصغر أو اقتصادية .

2- نلاحظ أن كمية الردم المطلوبة بين المحطة صفر والمحطة 40m تساوي 800m^3 (من منحني الحجم تقريباً ، لاحظ أن كل 1mm يعادل 200m^3) فلو كان سمر حفر ونقل المتر المكعب الواحد لمسافة 150m أو دون ذلك مساوياً JD. 0.1 فإن تكاليف عملية الردم اللازمة بين هاتين المحطتين تساوي $80 \text{ JD} = 800 \times 0.1$ وذلك بفترض أننا نأخذ بمادة الردم من مستودع قريب لا يتجاوز بعده 150m .

3- بملاحظة منحني الحجم يتضح أن خط التبادل d1d2 ذي الطول 150m (أي مقدار المسافة الحرة المفروضة Assumed Limit of Free Haul يقع بين المحطتين 278m و 128) (f و e على محور المسافات) وبالتالي فإن كمية الحفر المتوفرة بين المحطتين 278 و 200 (f و g على محور المسافات) تعادل كمية الردم المطلوبة بين المحطتين 200m و 128 (g و e على محور المسافات) ومقدارها 1800m^3 (تقريباً من منحني الحجم) . الآن إذا كان سمر حفر ونقل المتر المكعب الواحد لمسافة 150m أو دون ذلك يساوي J.D. 0.1 فإن التكاليف الكلية لعملية الحفر والردم اللازمة بين المحطتين 278 و 128 ستكون :

$$1800 \times 0.1 = 180 \text{ J.D.}$$

4- بالنسبة لخط التبادل d3d4 ذي الطول 300m (أي مقدار الحد الأعظم الاقتصادي للنقل) فإنه يمتد بين المحطتين 340m و 40 (النقطتين a و b على محور المسافات) وبالتالي فإن كمية الحفر المتوفرة بين المحطتين 340m و 278 (النقطتين b و f على محور المسافات) تعادل كمية الردم المطلوبة بين المحطتين 128 و 40 (النقطتين e و a على محور المسافات) ومقدارها 3400m^3 (تقريباً من منحني الحجم وتساوي الفرق بين الأحدثين الصاديين للنقطتين d4 و d2 على منحني الحجم) . حيث أن هذا الحجم بكامله سينقل لمسافة تفوق مسافة النقل المجاني (Freehaul) المفروضة وقدرها 150m ، لذا دعنا نصب أولاً المسافة الوسطى اللازمة لنقله . تحدد المسافة الوسطى هنا بالبعد بين مركزي ثقل (The Two Centers of Gravity) كتلة الحفر وكتلة الردم . نحصل على المسافة الوسطى تقريباً برسم خط أفقي يتوسط المسافة العمودية بين خط التبادل d2 و d1 ذي الطول 150m (مسافة النقل الحر) وخط التبادل d4 و d3 ذي الطول

300m (مسافة النقل الأعظمي الاقتصادية) . بالرجوع إلى الشكل (14-13) يتضح أن هذا الخط يمثل المسافة الوسطى يقطع منحني الحجوم في النقطة d5 (المحطة 84m) المحددة لمركز نقل كتلة الردم (Mass of Embankment) الممتدة بين المقطعين d3 و d1 (انظر منحني الحجوم) كما يقطع منحني الحجوم في النقطة d6 (المحطة 312m) المحددة لمركز نقل كتلة الحفر (Mass of Excavation) . وعليه فإن المسافة الوسطى (Average Haul) تساوي $228m = 312 - 84$ لحساب التكاليف نأخذ بعين الاعتبار بندين ، البند الأول يشمل تكاليف الحفر والنقل لكامل الحجم $(3400m^3)$ ولمسافة 150m قط هي مسافة النقل المجاني (Free Haul) المفروضة ، أما البند الثاني فيشمل تكاليف نقل كامل الحجم لمسافة تساوي الفرق بين مسافة النقل الوسطى (228m) ومسافة النقل المجاني ، أي : $78m = 228 - 150$ وعليه فإن تكاليف الحفر والنقل لكامل الحجم ومسافة النقل المجاني البالغة 150m فتساوي :

$$3400 \times 0.1 = 340 \text{ J.D.}$$

أما تكاليف النقل الكامل لحجم ومسافة النقل الزائد (Overhaul) فتساوي :

$$78 \times \frac{3400}{50} \times 0.033 = 175 \text{ J.D.}$$

ولخيراً تكون التكاليف الكلية لردم المنطقة بين المقطعين d3 و d1 بإستغلال حجم الحفر المتوفر بين المقطعين d4 و d2 مساوية :

$$\text{Total Cost} = 340 + 175 = 515 \text{ J.D.}$$

وذلك بفترض أن سعر حفر ونقل المتر المكعب الواحد لمسافة 150m أو دون ذلك تساوي 0.1 J.D. ، وسعر نقل المتر المكعب الواحد لكل 50m زيادة عن الـ 150m يساوي 0.033 J.D. .

5- يمكن بطريقة مشابهة الإستمرار في الحساب والتحليل لبقية أجزاء منحني الحجوم والمنقطع الطولي .

6- نقاط الذرى (Peaks) من منحني الحجوم تشير إلى وجود إنتقال من منطقة حفر إلى منطقة ردم ، على سبيل المثال ، النقطة u من منحني الحجوم تقابلها النقطة u' من المنقطع

الطولي ، أما نقاط اليمين (Valleys) فتشير إلى وجود إنتقال من منطقة ردم إلى منطقة حفر ، على سبيل المثال ، النقطتان w و v من منحنى الحجوم تقابلها النقطتان w' و v' من المقطع الطولي وهما من نقاط تقاطع سطح الأرض الطبيعية مع خط التصميم (Grad Line) .

7- لنذكر بالمصطلحات الهامة التي مرت أثناء الشرح السابق :

- أ . النقل المجاني (Free Haul) هو النقل الذي لا يترتب عليه أية أجور بل يكون (في الغالب) مشمولاً ضمن سعر الحفر شريطة أن لا تتجاوز مسافة النقل حداً معيناً متفقاً عليه .
- ب . النقل الزائد (Overt Haul) هو النقل الذي يتطلب أجوراً عن الفرق بين مسافة النقل المجاني المتفق عليها ومسافة النقل الفعلية .

ملحوظات عامة :

1- التربة ، التي تحفر في مواقع مختلفة من الطريق المقترح أو من جواره أو من أماكن بعيدة، قد لا تحافظ على الحجم التي كانت تحتله قبل الحفر بل ربما تتعرض لتقلص (Shrinkage) أو تضخم (Bulking) . على سبيل المثال ، لو كانت هذه التربة صخرية فإن حجمها بعد تفكيكها سيزيد بحدود 40% وقد يصل أحياناً إلى ضعف الحجم الأصلي (قبل عملية التفكيك) .

2- إذا جرى ردم التربة على طبقات رقيقة (10 - 15cm) ورسبت رسماً كافياً فإن حجم التربة هذه قد يفوق حجم الحفريات التي استغلت في عملية الردم . لذلك ، إذا تساوى حجم الردم المطلوب في جزء من المشروع مع حجم الحفر في جزء آخر منه ، فإن هذا لا يعني أن كمية الحفر ستكون كافية لمعالجة الطمم إلا إذا كانت التربة صخرية أو شبه صخرية. في أغلب الأحيان ، سيلازم كمية إضافية من التربة . إن النسبة الإضافية هذه قد تتراوح بين 20% - 5 تبعاً لخواص وشروط التربة التي ستردم وخواص التربة التي سيجري الردم فوقها . فمثلاً الرمل والحصى (Sands and Gravels) يقل حجمهما بحدود 10% بعد رصه .

3- إذا كان الردم يجري فوق تربة ضعيفة ، كمواقع المستنقعات مثلاً أو إذا كان لارتفاع الردم كبيراً ، 5-10m على سبيل المثال ، فإنه من المتوقع أن تهبط هذه التربة بعض الشيء مما سيزيد من كميات الردم المطلوبة للوصول إلى منسوب التصميم المقرر.

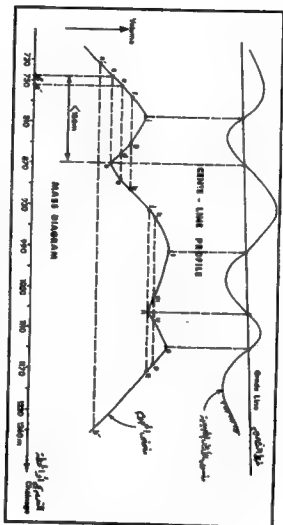
4- بالنظر للملاحظات أعلاه ، فإنه يجري قبل رسم منحنى الحجم ضرب كميات الحفر أو الردم ، المصوبة بطريقة المقطع الوسطي أو قاتون الموشور أو غيره بعمل يسمى عامل التبادل أو التوازن (Balance Factor) والبعض يسميه عامل الإنكماش أو التضخم (Bulking or Shrinkage Factor) . كأمثلة على عامل التوازن نقول ، إذا كان لدينا تربة محنة كل $1.2m^3$ منها قبل الحفر يكفي ويصلح لردم $1m^3$ فقط ، فنحنها يلزم ضرب كميات الحفر من تلك التربة بعمل 0.83 أو ضرب كميات الردم بـ 1.2 إن الرقم 0.83 أو 1.2 يمثل عامل التوازن . أما إذا كان لدينا تربة صخرية $1m^3$ منها قبل الحفر يكفي لردم $1.4m^3$ يلزم ضرب كميات الحفر من تلك التربة بـ 1.4 أو ضرب كميات الردم بـ 0.71 .

5- إذا لم تتبادل كميات الحفر مع الردم (بعد أخذ عامل التوازن بعين الاعتبار) أو كانت مسافات النقل بعيدة والتكاليف بالتالي باهظة ، فلا بد من تعديل وضع خط التصميم لمحو الطريق المقترح (Grade Line) وقد يلزم لإتجاز تعادل الكميات أو تقليل مسافات النقل هذه ، إجراء عدة تجارب على خط التصميم .

مثال رقم 7-13

في الشكل (13-15) ، الذي يبين منحنى الحجم والمقطع الطولي لجزء من طريق ، عند وضع خطوط التبادل التي تحقق مساحات أصغر (أي عزوم نقل أصغر) لقطاعات التبادل نلاحظ ما يلي :

1- بفرض أن مسافة النقل الاقتصادي الأعظمي 150m فإنه لا يمكننا تخفيض خط التبادل ab للأفضل ليأخذ مثلاً الوضع $a'b'$ لأنه في هذه الحالة ، وإن كانت كميات الحفر والردم متعادلة بين المقطعين a' و a ، سيزم نقل بعض كميات الحفر لمسافة تتجاوز 500m (لنظر على سبيل المثال ، المسافة اللازمة لنقل ناتج الحفريات قرب المحطة 720m إلى موقع الردم قرب المحطة 1270) .



شكل 13-15 - مثل رقم 13-7-

2- إذا بقي خط التبادل ab كما هو عليه في الشكل (13-15) فإنه سيتوجب علينا نقل كمية الحفر "aa" إلى مكان مناسب خارج جسم الطريق (أي لا يستخدم للردم) بالإضافة إلى نقل كميات أخرى من الحفر تقع على يمين المقطع b حيث لا يتوفر خط تبادل مناسب هناك (لاحظ منطقة الحفر أو الجزء الصاعد من منحني الحجم بين المقطعين z و b).

3- إذا رفعنا خط التبادل ab ليأخذ وضع cde ، على سبيل المثال، فإن كميات الحفر الزائدة أو الغير معادلة ستصبح cc' بدلاً من aa'' (أي ستزداد) لكن في نفس الوقت ستقل كميات الحفر الزائدة على يمين المقطع b إذ سيتبادل جزء منها بفضل خط التبادل de والذي هو جزء من خط التبادل cde . إذن لن يتربط على رفع خط التبادل ab للأعلى أية زيادة فعلية في كميات الحفر التي يتوجب صرفها خارج جسم الطريق حيث، ما يزيد من جهة اليسار ينقص وينقص المقدار من جهة اليمين (لاحظ أن حجم الحفر بين المقطعين c و a يساوي حجم الحفر بين المقطعين e و b). السؤال الذي يطرح نفسه الآن هو إلى أي مدى نرفع خط التبادل ab للأعلى أو بالأحرى ما هو الوضع الذي يحقق لنا التكاليف الأصغر؟ الجواب هو الوضع fgh حيث $fg = gh$ والسبب في ذلك أنه إذا حاولنا تخفيض هذا الخط للأسفل فإن مساحة قطاع التبادل ifg ستزداد بمقدار يزيد على المساحة التي سيقلها قطاع التبادل ghb ، كذلك إذا رفعنا الخط fgh للأعلى فإن مساحة قطاع التبادل ifg ستقل بمقدار أقل من الزيادة التي سيكسبها قطاع التبادل ghb وعليه فإن وضع خط التبادل الذي يجعل مجموع مساحتي قطاعي التبادل ifg و ghb أصغرياً هو عندما يكون $fg = gh$.

4- كذلك لا يمكننا تخفيض خط التبادل inq للأسفل حيث ستتحدى مسافة النقل الحد الأعظمي الإقتصادي المفروض ($150m$) ولكن يمكن رفعه للأعلى بحيث يحقق تكاليف أصغر. على سبيل المثال، إذا أخذنا الوضع $kmup$ بحيث يكون $mu + up - km$ مساوياً للحد الأعظمي الإقتصادي لمسافة النقل فإننا نحقق الحل الإقتصادي المنشود لهذا الجزء من الطريق.

مسائل

- 13 - 1 ما هي العناصر الأساسية التي يستند إليها موضوع التمثيل الخطي للكميات الترايية في مشاريع الطرق ؟
- 13 - 2 ما هي العوامل الأساسية التي تؤثر في تعيين التوزيع الاقتصادي للكميات الترايية ؟
- 13 - 3 هل يلزم أخذ عام الانكماش أو التضخم عند رسم منحنى الحجم ؟ لماذا ؟
- 13 - 4 على ماذا يدل كل من الآتي في منحنى الحجم ؟
- أ - الميل الموجب .
 - ب - الميل السالب .
 - ج - أعلى نقطة وأخفض نقطة (نقاط الذري والقيعان).
 - د - قيمة الإحداثي الصادي عند أي نقطة من المنحنى .
 - هـ - الخط الأفقي الذي يقطع منحنى الحجم .
 - و - نقاط الانقطاع .
- 13 - 5 ماذا نعي بقطاع التعادل ؟
- 13 - 6 ماذا تمثل مساحة قطاع تعادل معين ؟
- 13 - 7 ماذا نعي بـ " حدود النقل الجماعي " ؟
- 13 - 8 ماهي للمسافة الوسطى للنقل وما هو عزم النقل ؟
- 13 - 9 اعط مثلاً عددياً على عزم النقل .
- 13-10 ماهي العلاقة بين مساحة قطاع التعادل وحجم وتكاليف الأعمال الترايية ؟
- 13-11 ماهو الحد الأعظمي الاقتصادي لمسافة النقل إذا علمت أن سعر حفر ونقل لتر للكعب الواحد يساوي ربع دولار لمسافة (150m) أو دون ذلك وسعر

نقل المتر للكعب الواحد لكل (50mm) زيادة على (150mm) يساوي عُشر
الدولار ؟

12-13 بالرجوع إلى الشكل (13-14) ، عتق على خط التماثل (d) ؟

- 14 -

- الفصل الرابع عشر -

غرس أوتاد الميل

SLOPE STAKING

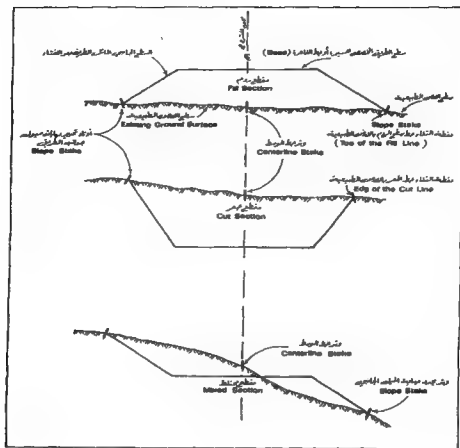
14- غرس أوتار الميل (Slope Staking)

لغايت توقيع وتنفيذ الجدران الاستنادية (Retaining Walls) ومشاريع الطرق (Highway Constructions) والمسكك الحديدية (Railroads) والمطارات (Airfields) الخ ، يلزم إيجاد المسبل الميدانية للكفيلة بارشاد المتعهدين القاتمين على تنفيذ هذه المشاريع بحيث ينسجم ويتكامل التصميم مع التنفيذ . من أجل ذلك يجري غرس أوتاد (Stakes) ارشادية لتحديد خط الوسط للمشروع (Centerline) وكذلك لتحديد نقاط تقاطع خطوط الميول الجانبية المقترحة (Proposed Side Slopes) لمختلف المقاطع العرضية مع سطح الأرض الطبيعية (Natural Ground) ولعل الأمر يصبح أكثر ضرورة في الحالات التي تنفذ فيها المشاريع في مناطق وعرة غير منتظمة الميل (Uneven Ground) ، الشكل رقم (1-14) .

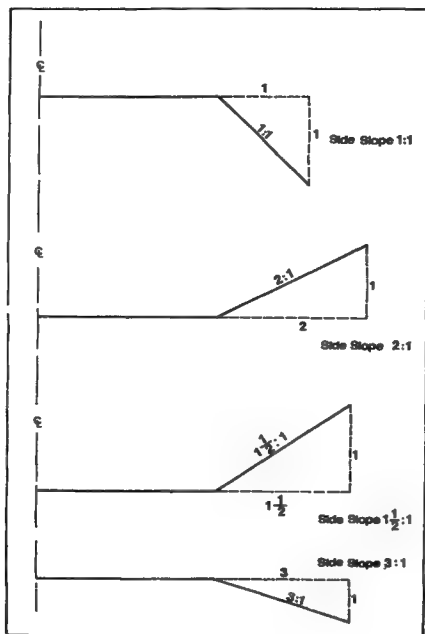
هناك طريقتان رئيسيتان تستخدمان في تعيين مواقع ومناسيب نقاط حدود الانحدار (الميل Slope) للمسطوح الجانبية للمقاطع العرضية لمختلف المشاريع الهندسية نوضحها في الفقرات التالية ، انظر الشكل رقم (2-14) الذي يوضح الميول الجانبية (Side Slopes) لمقاطع عرضية مختلفة .

1-14- تعيين مواقع ومناسيب الأوتاد بالاستعانة بالمخططات ، للشكل (1-14) .

بعد اجتاز كافة الأعمال الميدانية المتعلقة بتعيين مناسيب النقاط المختارة والممثلة للمقاطع العرضية في سطح الأرض الطبيعية على طول محور المشروع المعتبر ، يتم رسم هذه المقاطع بقياس رسم مناسب (سواء للمسافات الرأسية أم للمسافات الأفقية) فيحدد لدينا طبيعة تضاريس سطح الأرض الطبيعية



الشكل رقم 14-1 - عرض الازداد المختلفة للنقاط المميزة من المقاطع العرضية المتابعة لطريق معين

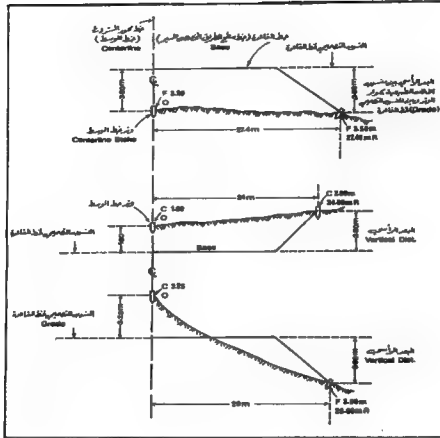


الشكل رقم 14-2- طريقة الصير من المول الجانبية

عند كل محطة من محطات محور المشروع وفي الاتجاه المتعاكس مع هذا المحور . الآن يجري كمال رسم هذه المقاطع بإضافة مقطع الطريق العرضي المقترح أو المصمم (القاعدة أو عرض سطح الطريق المخصص للمسير Base والميول الجانبية (Side Slopes) وذلك باستخدام نفس المقاييس (الأفقي والرأسي) المطبقين في رسم خط سطح الأرض الطبيعية . الآن ، ومع وجود المقطع العرضي مرسوماً كاملاً عند كل محطة على طول محور المشروع ، يمكن قياس (باستخدام مسطرة قياس مناسبة Scale) المسافة الأفقية بين محور المشروع والمار بالمقطع العرضي المستر ونقطة تقاطع كل من خط الميل الجانبي الأيسر (Left Side Slope) وخط الميل الجانبي الأيمن (Right Side Slope) للمقطع العرضي ذاته مع سطح الأرض الطبيعية.

من السهل الآن نقل هذه المسافات المقاسة على المنحط إلى الطبيعة وذلك لكل مقطع عرضي باستخدام الشريط (Tape) وتغرس الأوتاد (Stakes) على يمين ويسار محور المشروع فتتشكل بذلك حدود الانحدار أو الميل للمسطوح الجانبية المقاطع العرضية. بالطبع، وكما في حالة للمسافات الأفقية ، يجري أيضاً تحديد منسوب الأرض الطبيعية بجوار كل وتد بالقياس المباشر على المقطع العرضي ذي العلاقة والمرسوم وفق مقاييس رسم أفقي ورأسي مناسبين ، الشكل رقم (14-3) .

وبعد غرس الأوتاد يكتب على كل منها مقدار المسافة الأفقية بين الوتد المستر وخط محور المشروع يميناً أو يساراً كما يشار إلى مقدار المسافة الرأسية بين سطح الأرض الطبيعية بجوار هذا الوتد والمنسوب التصميمي لخط القاعدة (Base Elevation) عند المقطع العرضي المستر .



الشكل رقم 14-3- الإشارة إلى البعد الرأسي بين منسوب الأرض الطبيعية بجوار كل
وتد وبين المنسوب التصميمي لخط القاعدة (Grade) وكذلك الإشارة إلى بعد كل
وتد عن خط وسط المشروع (خط محور المشروع Centerline).

14-2- تعيين مواقع ومناسيب الأوتاد بالطرق التجريبية (Trial & Error Procedure)

يمكن أيضاً تحديد مواقع أوتاد الميل (Slope Stakes) دون حاجة إلى رسم المقاطع العرضية وذلك بالجوء إلى طريقة التجربة والخطأ التي يجري إنجازها في الميدان استناداً إلى معلومات تصميمية متوفرة بشكل مسبق وإلى قياسات ميدانية يجري القيام بها في أثناء عملية تحديد مواقع أوتاد الميل .

أما المعلومات التصميمية التي يجب توفرها قبل البدء بالعمل الميداني المتعلق بتحديد مواقع أوتاد الميل فتتلخص بـ (أ) محطة المقطع العرضي المعبر (Station) ، (ب) منسوب قاعدة المقطع العرضي (منسوب نقطة وسط الجزء المخصص للميل من المقطع العرضي (Base Elevation) الذي يستنتج من خلال دراسة المهندس المصمم للمقطع الطولي في سطح الأرض الطبيعية (Profile Study) على طول محور المشروع أو خط الوسط (Centerline) إضافة إلى العوامل الهندسية الأخرى (الميول ومسافات الرؤية ونوع الطريق والعربات الخ) (ج) عرض خط القاعدة (Base Width) ، (د) الميول الجانبية (Side Slopes) ، بخصوص القياسات والأعمال الميدانية فيمكن أيضاً تلخيصها بـ (أ) البحث عن أقرب علامة منسوب أو نقطة استناد (Bench Mark) ، (ب) تثبيت جهاز التسوية في موقع مناسب قرب المقطع العرضي المعبر وتعيين منسوب خط نظر الجهاز (Height of Instrument) استناداً إلى علامة المنسوب (بلخذ قراءة خلفية B.S. على المسطرة المثبتة رأسياً فوق علامة المنسوب) ، (ج) تعيين منسوب سطح الأرض الطبيعية بجوار وتد خط الوسط (Centerline Stake) وذلك بقراءة المسطرة (Rod) المثبتة أو التي يجري تثبيتها رأسياً بجوار هذا الوتد

(لاحظ أن وتد خط الوسط لكل مقطع عرضي يكون قد تم غرسه أو تثبيته في الحقل في مرحلة سابقة - مرحلة عمل المقطع الطولي (Longitudinal Profile Leveling) . نوضح فيما يلي الخطوات اللازمة بشأن تحديد مواقع أوتاد الميل بطريقة التجربة والخطأ .

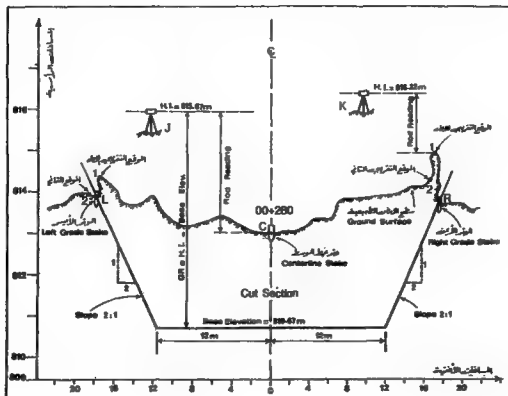
مثال رقم 14-1- الشكل رقم (4-14)

لديك مقطع عرضي بالمواصفات التصميمية التالية :-

- المحطة : Station 00 + 280
- المنسوب التصميمي لخط القاعدة : Base Elevation = 810.67m
- عرض خط القاعدة : Base Width = 24m
- الميل الجانبية : Side Slopes = 2:1

لما المعلومات والقياسات الميدانية فهي كما يلي :

- منسوب نقطة الاستناد Bench Mark Elevation = 813.64m
- القراءة الخلفية (Back Sight) على نقطة الاستناد من الموقع I قرب الطرف الأيسر للمقطع: والقراءة الخلفية على نفس نقطة الاستناد من الموقع K قرب الطرف الأيمن من المقطع : B.S. = 2.23m.....
- القراءة على المسطرة (Rod) المثبتة رأسياً فوق سطح الأرض الطبيعية بجوار وتد خط الوسط B.S. = 2.68m.....
- (Centerline Stake) Rod Reading at Centerline Stake = 2.92m



الشكل رقم 4-14

المطلوب

حساب وبيان موقع كل من وتدي الميول الجانبية (Side Slope Stakes) بالنسبة للوتد الأوسط إضافة الى تعيين المسافة الرأسية بين منسوب الأرض الطبيعية بجوار هذين الوتدين ومنسوب خط القاعدة (أي فرق الارتفاع بين سطح الأرض الطبيعية بجوار كل من الوتدين وخط القاعدة) وذلك بتطبيق طريقة التجربة والخطأ علماً بأن وتد خط الوسط محدد وظاهر تماماً في الطبيعة .

الحل

انظر الشكل (4-14) والجدول رقم (4-14):
يمكن إيجاد حل هذا المثال بالخطوات التالية :-

أولاً : حساب مقدار المسافة الرأسية (Vertical Distance) بين منسوب الأرض الطبيعية بجوار الوتد الأوسط ومنسوب خط القاعدة . لدينا منسوب خط النظر لجهاز التسوية (Level) في الموقع J (لاحظ الشكل (4-14) يساوي :

Height of Instrument (H.I.) at J = Elevation of the Bench Mark + B.S.

H.I. = 813.64 + 2.23 = 815.87m

المنسوب التصميمي المطلبي لخط القاعدة يساوي 810.67m وعليه فإن القراءة التي يجب أن نقرأ على المسطرة المثبتة على سطح الأرض الطبيعية بجوار الوتد الأوسط كي يكون هذا الوتد مغروساً عند نفس المنسوب التصميمي المقرر أو المقترح له يساوي منسوب خط النظر للجهاز في الموقع J مطروحاً منه المنسوب التصميمي لخط القاعدة ، أي :-

Grade rod (GR) = Required Reading = H.I. - Base Elevation
Grade Rod (GR) = 815.87 - 810.67 = 5.20m

الجدول رقم 14-1- الحسابات الخاصة بمواقع الأوتاد للمقاطع العرضية المختلفة ،

مثال رقم (144) ، [524]

[illegible]

ولكن القراءة الفعلية على المسطرة بجوار الوتد الأوسط هي $Rod_c = 2.92m$ وعليه فإن مقدار المسافة الرأسية (مقدار الحفر Cut) بين المنسوب الفعلي بجوار الوتد الأوسط والمنسوب التصميمي لخط القاعدة يساوي :-
 $Vertical Distance = GR - Rod_c = 5.20 - 2.92 = 2.28m$

ثانياً:- حساب المسافة الأفقية بين وتد خط الوسط (C) وتود الميل الأيسر (L) .

نفترض أولاً أن سطح الأرض الطبيعية وفق هذا المقطع العرضي منبسط ، بمعنى أن لسطح الأرض قرب كل من الأوتاد L, C, R نفس المنسوب ، أي : $= 815.87 - 2.92 = 812.95m$ وهذا عبارة عن منسوب خط النظر لجهاز التسوية في الموقع I مطروحا منه القراءة على المسطرة عند الوتد الأوسط ، أو $812.95 = 810.67 + 2.28$ وهذا عبارة عن المنسوب التصميمي لخط القاعدة مضافا إليه المسافة الرأسية أو مقدار الحفر اللازم والمصوب بجوار الوتد الأوسط . حيث أن الميل المقرر لكل من جانبي المقطع العرضي هو 2:1 لذا فإن المسافة الأفقية بين الوتدين L, C تساوي نصف عرض خط القاعدة $24/2 = 12m$ + ضعف (لاحظ أن ميل الجانب 2:1) عك الحفر اللازم عند وتد خط الوسط C والمساوي 2×2.28 .

وبالتالي فإن المسافة الأفقية بين هذين الوتدين تساوي $12 + 2(2.28) = 16.56m$ وبالنظر لكون سطح الأرض الطبيعية مثالا للأعلى باتجاه الوتد L وليس منبسطا ، لذا فإن المسافة الأفقية الفعلية بين الوتدين L, C هي أكبر من المقدار المصوب (الافتراضي) $(16.56m)$. لذلك دعنا ، بطريقة التجربة والخطأ ، نفترض أن المسافة الأفقية بين الوتدين C , L تساوي $18m$ (لاحظ أن اتجاه ميل سطح الأرض الطبيعية هو للأعلى وهو نفس اتجاه سطح الأرض الطبيعية وبالتالي فإن مقدار الارتفاع

الرأسي بين الوند L وخط القاعدة أكبر من مقدار الحفر اللازم عند الوند الأوسط ، أي 2.28m وبالتالي فإن المسافة الأفقية الفعلية ستكون أكبر من المسافة الأفقية المصوبة استناداً إلى فرضية استوائية أو تبساط سطح الأرض الطبيعية بين الأوتاد الثلاثة . ولتثبت الآن المسطرة عند موقع افتراضي (1) ، لاحظ الشكل (4-14) على يسار وتد خط الوسيط C بمسافة مقدارها 18m ونأخذ عليها القراءة بواسطة جهاز التنصوية (Level) من نفس الموقع السابق J ولتكن هذه القراءة : $Rod_{(1)} = 1.62$ وعليه يكون مقدار المسافة الأفقية بين الوند الأوسط C والموقع الافتراضي أو التجريبي (1) للوند الأيسر L مساوياً نصف عرض خط القاعدة + ضعف المسافة الرأسية الحالية بين الوند L في موقعه التجريبي (1) وخط القاعدة لما المسافة الرأسية هذه فتساوي : منسوب خط النظر للجهاز عند الموقع J (815.87) مطروحاً منه المنسوب التسميمي لخط القاعدة (810.67) والقراءة على المسطرة قرب الموقع التجريبي (1) : $Rod_{(1)} = 1.62$ ، أي :

$$\text{Vertical Distance} = GR - Rod_{(1)} = (815.87 - 810.67) - 1.62$$

$$\text{Vertical Distance} = 5.20 - 1.62 = 3.58m$$

وبالتالي فإن المسافة الأفقية بين الوند الأوسط C والموقع الافتراضي (1) للوند الأيسر L. تساوي : $12 + 2(3.58)$ وهذا المقدار المحسوب (19.16m) هو أكبر من المسافة الأفقية التقريبية (18m) الماخوذة لموقع الوند الأيسر L. دعنا إذن نحول مسافة أخرى (تجريبية) أكبر ، أي لنختار موقعاً تقريبياً آخر (2) يبعد عن الوند الأوسط بمقدار 19m ثم لنأخذ على المسطرة المثبتة رأسياً بجوار هذا الموقع قراءة بواسطة جهاز التنصوية ومن نفس الموقع السابق J ولنفتراض أن هذه القراءة كانت مساوية $Rod_{(2)} = 1.98m$. استناداً إلى ذلك يكون مقدار المسافة الأفقية بين الوند C والموقع الافتراضي (2) للوند L

مساوياً : نصف عرض خط القاعدة مضاعفاً إليه ضئف المسافة الرأسية الحالية بين الودد L في موقعه التقريبي (2) وخط القاعدة .

وبالنسبة للمسافة الرأسية هذه فتساوي :

$$\text{Vertical Distance} = \text{GR} - \text{Rod} = 5.20 - 1.98 = 3.22\text{m}$$

وعليه تكون المسافة الأفقية بين الودد الأوسط C والموقع التجريبي (2) للودد الأيسر L مساوية : $12 + 2(3.22) = 18.44\text{m}$ ويلاحظ أن هذا المقدار يختلف أيضاً عن المسافة الأفقية التقريبية (19m) المأخوذة لموقع الودد L عند (2) لذلك دعنا نحاول موقعاً تقريبياً آخر، عسى أن يكون الموقع النهائي (Final) يبعد بمقدار 18.50m عن يسار الودد الأوسط C . كذلك دعنا نفترض أن القراءة على المسطرة المثبتة رأسياً بجوار الموقع التقريبي (3) كانت : $\text{Rod}_{(\text{Final})} = 2.03\text{m}$ عندها تكون المسافة الرأسية بين الموقع النهائي للودد L وخط القاعدة مساوية :

$$\text{GR} - \text{Rod}_{(\text{Final})} = 5.20 - 2.03 = 3.17\text{m}$$

وبالتالي فإن المسافة الأفقية بين الودد C والموقع الافتراضي الأخير للودد L تساوي : نصف عرض خط القاعدة + ضئف المسافة الرأسية الخاصة بالموقع الأخير للودد L (لاحظ أن مقدار ميل جانب المقطع العرضي (Side Slope) يساوي 2:1 أي : $12 + 2(3.17) = 18.34\text{m}$ وهنا نلاحظ أن المسافة الأفقية الافتراضية (18.50) للودد L تقارب المسافة المحسوبة (18.34m) حيث لا يتجاوز الفرق بينهما ما يمكن قبوله عملياً في مثل هذه الأعمال (نصف متر تقريباً) . لذا نفرس الودد L في موقع يقع على يسار ودد خط المنتصف C بمقدار القيمة المحسوبة (18.34m) مفترضين أن القراءة على المسطرة عند الموقع النهائي المعتمد (المحسوب 18.34m) ستكون مساوية بتقريب جيد القراءة على المسطرة عند الموقع التقريبي الأخير

Rod Final الذي يبعد مسافة 18.50m عن يسار الوتد الأوسط
. C

ثالثاً : حساب المسافة الأفقية بين الوتد الأوسط C والوتد الأيمن R
للشكل (14-4) .

لحساب هذه المسافة فإننا ننتج نفس الأسلوب المتبع في حساب
وتحديد موقع الوتد الأيسر L مع ملاحظة أن عمق الحفر
اللازم عند الوتد الأوسط C هو نفس المقدار المنسوب سابقاً
(2.28m) ولن المسافة الأفقية بين الوتد الأوسط C والوتر
الأيمن R ستكون مساوية 16.56m بالفترض أن سطح الأرض
منبسط ، أي أن له نفس المنسوب عند الأوتاد L, C, R ، أنظر
الجدول رقم (14-1) ..

رابعاً : تعيين المسافة الرأسية بين منسوب الأرض الطبيعية بجوار كل
من الوتدين L, R ومنسوب خط القاعدة .

حيث أنه قد تم تعيين منسوب خط نظر الجهاز (جهاز التسوية)
عند كل من الموقعين K, J وتم أيضاً تحديد الموقع النهائي لكل
من الوتدين L, R على يسار ويمين الوتد الأوسط ، لذلك فإنه
بأخذ القراءة بواسطة جهاز التسوية على المسطرة المثبتة
رأسياً بجوار كل من الوتدين L, R يتحدد وبسهولة منسوب
الأرض الطبيعية بجوار كل من هذين الوتدين . وبالتالي فإنه
بمعرفة منسوب خط القاعدة يتم حساب المسافة الرأسية
المطلوبة، أنظر الجدول رقم (14-1) .

الجدول رقم (14-2) يعطي ملخصاً للصلابات الواردة في المثال
رقم (14-1).

الجدول رقم 14-2- ملخص الحسابات للمثال رقم (14-1)

Station	منسوب سطح التراب أو ارتفاع الجدار H.I.	القرائة على القطرة بجوار الرصد Back Sighting	منسوب الأرض الطبيعية بجوار الرصد Intermediate	منسوب التصميمي لخط القاع Base Elevation	الارتفاع بين الرصد وخط القاع Vertical Distance	الرمز والمقياس الذي تكتب على الأوراق 30x30		
						Back Sighting		
						L	C	R
0+200								
0+200	015.07	2.00	013.00	000.07	C 3.30		C 3.30/00.00	
0+241	015.07	2.00	013.00	000.07	C 3.17	C 3.17/00.30		
0+280	005.00	2.00	013.00	000.07	C 7.00			C 6.83/17.00

مثال رقم 14-2- الشكل رقم 14-5

مقطع عرضي لطريق بالمواصفات التالية :

المحطة : station:12+300

سطح الأرض الطبيعية ينحدر من الأعلى جهة اليمين (from High on the Left) إلى الأخفض جهة اليمين (to Low on the Right).

منسوب خط النظر (سطح للميزان) في الموقع J :

H.I. at K=53.26m:K ومنسوبه في الموقع H.I. at J=54.65m

(انظر الجدول رقم (14-3) حيث تشير في رأس الجدول إلى

منسوب علامة الاستناد (Bench Mark) وإلى القراءة الخلفية

عليها من الموقعين K, J)

المنسوب للتصميمي لخط القاعدة : Base Elevation = 60.00m

عرض خط القاعدة : Base Width=12.00m لاحظ أن خط

محور المشروع (خط الوسط Centerline) يمر من منتصف خط

للقاعدة.

الميل الجانبية 1 : 1.5 Side Slopes =

الجدول (14-3) ، الحسابات الخاصة بمواقع الأوتاد للمقاطع العرضية المختلفة ،

[52م]

Slope 1:1	Direction of the Branch Road - 10.70m Bank Right Handing - 1.0m Height of Instrument (31.1m) - 34.00m Left Half Section, Station 12 + 100				Direction of the Branch Road - 10.70m Bank Right Handing - 0.47m Height of Instrument (31.1m) - 31.50m Right Half Section, Station 12 + 100			
	وحد القطع Center	الارتفاع الاول اليمين 1	الارتفاع الثاني اليمين 2	الارتفاع الثالث اليمين Point	وحد القطع Center	الارتفاع الاول اليمين 1	الارتفاع الثاني اليمين 2	الارتفاع الثالث اليمين Point
موقع المقطع أو المخطط Bed Position	00.00	10.000	21.500	34.500	00.00	00.500	17.500	31.500
مسبب خط المقطع أو المخطط S.L.	34.00	34.00	34.00	34.00	31.50	31.50	31.50	31.50
Base Elevation	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00
الارتفاع للسكة اليسرى بين خط القاعدة وخط مركز المحور								
PIB - CB + Base Elevation 31.1	00.00	00.00	00.00	00.00	00.74	00.74	00.74	00.74
الارتفاع على المسطح بين مركز المحور وخط القاعدة								
Bed Elevation	00.10	00.05	00.00	00.05	00.71	00.15	00.05	00.05
الارتفاع للسكة اليسرى بين خط القاعدة وخط مركز المحور								
Vertical Distance	07.05	00.00	00.00	00.00	07.05	00.00	00.00	00.00
PIB - CB + Bed Elevation								
الارتفاع للسكة اليسرى بين خط القاعدة وخط مركز المحور								
Vertical Distance								
Bed Elevation	11.30	00.00	00.00	00.30	11.30	00.00	00.30	00.30
الارتفاع على المسطح بين مركز المحور وخط القاعدة								
Base Elevation	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
الارتفاع للسكة اليسرى بين خط القاعدة وخط مركز المحور								
Offset from the Center Elevation 1.00m Subsides the Right Grade Line	25.40	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
الارتفاع على المسطح بين مركز المحور وخط القاعدة								
Mark Station	7+00/21.50				7+00/00			

- الوتد الأوسط (Center Stake) مفروس في الأرض الطبيعي وفي الموقع المحدد له .

المطلوب :

1. تحديد موقع كل من وتدي الميول الجانبية Side Slope Stakes الخاصة بهذا المقطع العرضي بالنسبة للوتد الأوسط .
2. تعيين المسافة الرأسية بين منسوب الأرض الطبيعية بجوار هذين الوتدين ومنسوب خط القاعدة، مع مراعاة أن يكون الحل بطريقة التجربة والخطأ استناداً إلى معطيات التصميم الواردة في نص المسألة وإلى القياسات الميدانية الواردة في الجدول رقم (3-14) .

الحل :

لحل هذا المثال نتبع الخطوات التالية، أنظر الشكل رقم (6-14) والجدولين (3-14) و (4-14)

- 1- نختار مقياساً مناسباً للمسافات الأفقية (Horizontal Scale) وآخر للمسافات الرأسية (Vertical Scale) ونرسم ، بالامتساق بالمعلومات الواردة في نص المسألة والقياسات الميدانية المشار إليها في الجدول رقم (3-14) ، مقطعاً عرضياً يظهر خط القاعدة والميادين الجانبين (The Two Side Slopes) مع ملاحظة أن كل من هذا المقطع حفراً (Cut Section) أو رصفاً (Fill Section) أو مختلطاً (Mix Section) وذلك بمقارنة ودراسة المنسوب المقترح لخط القاعدة ومنسوب خط النظر ومنسوب الأرض الطبيعية بجوار الوتد الأوسط .

- 2- نجري الحسابات الخاصة بتعيين مواقع ومناسيب الأوتاد (الوتدين على يسار ويمين الوتد الأوسط) بإتباع نفس الأسلوب والخطوات الواردة في المثال رقم (1-14) ونرتبها في جدول مناسب، أنظر الجدول رقم (3-14) .

3- نرسم أو نضيف على المقطع العرضي، المشار إليه في البند 1 أعلاه، خط سطح الأرض الطبيعية استناداً إلى المناسيب والمواقع المحددة ليضع نقاط مميزة من المقطع العرضي (الوتر الأوسط والوترين الأيسر والأيمن) التي تم حسابها وانخالتها في الجدولين (3-14) و(4-14) .

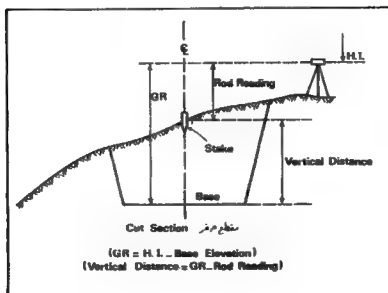
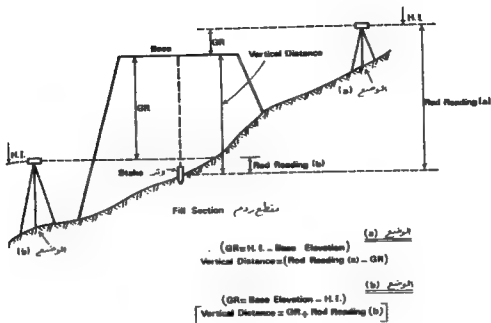
4- يتجاوز الجدولين ، وبكامل رسم المقطع العرضي نكون قد أنجزنا كافة متطلبات المسألة .

ملحوظة :

الشكل رقم(6-14) يوضح مفهوم المسافات والقراءات الواردة في الجدولين(1-14) و(3-14) .

الجدول رقم 14-6- ملخص الحسابات للمثال رقم(2-14)

المحطة Station	منسوب سطح المران أو ارتفاع الجهاز M.L. (m)	الارتفاع على السطح بمرور الوتر Sight Reading (m)	منسوب الأرض الطبيعية بمرور الوتر Sight (m)	المنسوب التصميمي خط القاع Base Elev. (Design) (m)	الميل الرأسي بين الارتفاعين Slopes (vertical) (m)	الرموز والمقادير التي تكتب على الأوراق 2-20		
						Blank Spaces		
						L	C	R
12 + 300								
68.600	34.00	3.10	32.50	69.00	77.00	77.05/68.00		
38.30 L	33.00	0.00	34.30	69.00	75.00	75.00/38.30 L		
38.30 R	33.00	3.00	3.00	69.00	79.30	79.30/38.30 R		



الشكل 6-14 توضيح المسافات والقراءات الواردة في الجدولين 1-14 , 3-14 ،

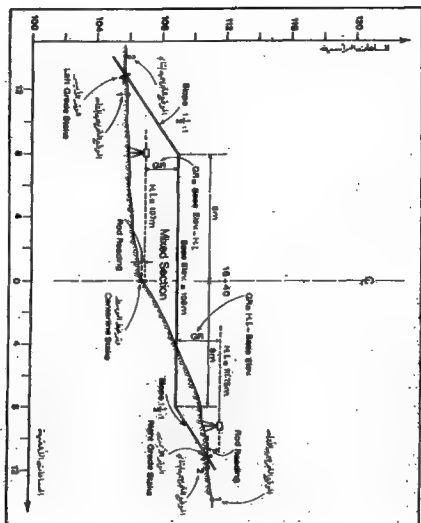
[52م]

مثال رقم (14-3) الشكل رقم (14-7) .
مقطع عرضي لطريق بالمواصفات التالية:

- المحطة : Station: 16+40
- سطح الأرض الطبيعية عند هذه المحطة ، وفي الاتجاه المتعامد مع محور المشروع، يتحدر من الأسفل (الأخفض) جهة اليمين إلى الأعلى جهة اليمين
Sloping from a low Area on the Left to a Higher Area on the Right
- منسوب خط القطر (ارتفاع الجهاز H.I.) عند الموقع J : $H.I. at J = 107.00m$ ومنسوبه في الموقع K : $H.I. at K = 111.75m$ (انظر الجدول رقم (14-5)، حيث أشير في رأس الجدول إلى منسوب علامة الاستناد (Bench Mark) وإلى القراءة الخلفية عليها من الموقعين (J,K) .
- المنسوب التصميمي : Proposed Base Elevation = 109.00m
- عرض خط القاعدة Base Width = 12.00m وخط محور المشروع يمر من منتصف خط القاعدة.
- الميول الجانبية : Side Slopes = 1.5:1
- اللوتد الأوسط (Center Stake) مغروس في الأرض الطبيعية وظاهر يوضح في الموقع المحدد له على محور المشروع عند المحطة 16+40

المطلوب :-

- 1- تحديد موقع كل من وتدي الميول الجانبية الخاصة بهذا المقطع العرضي بالنسبة للوتد الأوسط
- 2- تعيين المسافة لرأسية بين منسوب الأرض الطبيعية بجوار هذين اللوتين ومنسوب خط القاعدة وذلك بطريقة التجربة والخطأ استناداً إلى مستويات التصميم الواردة في نص المسألة وإلى القياسات الميدانية المشار إليها في الجدول رقم (14-5).



الشكل رقم 7-14-

الجدول رقم 14-5- الحسابات الخاصة بمواقع الأوتاد للمقاطع العرضية المختلفة ،

مثال رقم 3-14-

[illegible]

الحل :-
يمكن تبعا الخطوات التالية واتخاذ المطلوب :-

- 1- باختيار مقياس رسم مناسب للمسافات الأفقية وآخر للمسافات الرأسية ، يمكن رسم مقطع عرضي للطريق عند المحطة 40+16 بمطومية منسوب وعرض خط القاعدة والعيول الجانبية . وبهذا يمكن من خلال المعلومات الواردة في نص المسألة رسم كامل المقطع العرضي عند المحطة المضيرة باستقاء خط سطح الأرض الطبيعية . لاحظ أن المعلومات المحطة والمتعلقة بعرض ومنسوب خط القاعدة ومنسوب خط النظر لجهاز التسوية ومنسوب الأرض الطبيعية بجوار الوتد الأوسط (نستنتج هذا المنسوب بمطومية منسوب خط النظر H.I. والقراءة على المسطرة المثبتة رأسياً بجوار الوتد الأوسط) تكفي لتمييز هوية أو نوع المقطع العرضي إن كان حفراً أو ردماً أو مختلطاً .
- 2- تجري الحسابات الخاصة بتعيين مواقع ومناسيب الوتدين الأيسر والأيمن باتباع نفس الأسلوب والخطوات الواردة في المثال رقم (14-1) وترتيبها في جدول مناسب ، أنظر الجدول رقم (14-5).
- 3- نرسم أو نضيف على المقطع العرضي ، المشار إليه في البند أعلاه ، خط سطح الأرض الطبيعية وذلك بعد أن يكون قد استنتجنا مناسيب ومواقع الوتد الأوسط وكل من الوتدين الأيسر والأيمن وتم ترتيب الحسابات الخاصة بها في جدول مناسب ، أنظر الجدولين (14-5) (14-6).
- 4- باتخاذ الجدولين وبكمال رسم المقطع العرضي عند المحطة 40 + 16 نكون قد أنجزنا كافة المتطلبات .

ملحوظة :

لاحظ أن المواقع التجريبية (1),(2) لكل من الوتتين الأيسر والأيمن والمناسيب المقيسة والمحسوبة لهما تسهم في رسم أو بيان طبيعة خط سطح الأرض الطبيعية عند المحطة 16+40 الخاصة بالمقطع العرضي المعبر وذلك إلى جانب المواقع والمناسيب المحسوبة والنهائية (Final) للوند الأوسط ولكل من الوتتين الجانبيين (الأيسر والأيمن).

ملحوظات :

1- لجميع أشكال المقاطع العرضية (حفر ، ردم ، مختلط) يكون مقدار فرق المنسوب بين خط القاعدة وخط نظر الجهاز ، أي GR مساوياً :

$$GR = H.I. - \text{Base Elevation.}$$

أو

$$GR = \text{Base Elevation} - H.I.$$

2- يصب مقدار المسافة الرأسية (Vertical Distance) بين خط القاعدة وخط نظر الجهاز باستخدام إحدى العلاقات الثلاث التالية:-

$$\text{Vertical Distance} = GR - \text{Rod Reading}$$

$$\text{Vertical Distance} = GR + \text{Rod Reading}$$

$$\text{Vertical Distance} = \text{rod Reading} - GR$$

الجدول رقم 14-6- ملخص الحسابات للمثال رقم 14-3-

المثال Example	منسوب سطح الترانزيت أو ارتفاع الجدار SLA (m)	الارتفاع من السطح بجوار الترانزيت Red Benchmark (m)	منسوب الأرض الطبيعية بجوار الترانزيت Elevation (m)	المنسوب الطبيعي أعلى المقامة New Elevation (m)	المسافة الرأسية بين الترانزيت والمقامة Elevation Difference (m)	الرموز والمقادير التي تكتب على الأوتاد (Stakes)		
						B	C	E
10 + 00								
00.000	107.00	0.15	107.05	109.00	FL 15		FL 15/0.00	
12 + 01	107.00	1.30	108.30	109.00	FL 30	FL 30/12.00		
11.000	111.75	0.75	111.00	109.00	C 2.00			C 2.00/11.00

- 3- عند تحديد المواقع للتجريبية لأوتاد الميول الجانبية (Slope Stakes) على يمين ويسار خط الوسط فإنه يجري الاستئناس بالمسافة المحسوبة بفترض أن سطح الأرض الطبيعية له نفس المنسوب في الوسط وعلى يمين ويسار خط الوسط (منبسطة) حيث تزداد هذه المسافة المحسوبة إذا كان ميل سطح الأرض الطبيعية بنفس اتجاه ميل السطح الجانبي للمقطع وتقل (تنقص) إذا كان ميل سطح الأرض الطبيعية عكس اتجاه ميل السطح الجانبي للمقطع ، فنظر على مسيل للمثال الحالة الواردة في المثال رقم (2-14) والشكل رقم (5-14) حيث كان اتجاه ميل سطح الأرض الطبيعية في النصف الأيسر للمقطع مائلاً لاتجاه ميل السطح الجانبي الأيسر وكانت المسافة المحسوبة لبعد اللود الجانبي الأيسر بفترض أن سطح الأرض منبسطة 23.18m لذلك اعتمدنا مسافة للموقع للتجريب الأول للود الجانبي الأيسر قدرها 18m وهي أصغر من المسافة المحسوبة (23.18m). كذلك بالنسبة للنصف الأيمن لهذا المقطع ، كانت المسافة المحسوبة لبعد

نوك الجاني الأيمن يقرآن أن سطح الأرض منسطح (23.18m)
(نفس المقدار السابق بالطبع) وحيث أن اتجاه ميل سطح
الأرض الطبيعية هو نفس اتجاه ميل السطح الجاني الأيمن
للمقطع لذلك اعتدنا للموقع التبريزي الأول نوك الجاني الأيمن
مسافة قدرها 30.50m وهي أكبر من المسافة المحسوبة
(23.18m).

4- تعتمد دقة وعدد المحاولات التبريزية لتحديد مواقع أوتاد الميل
الجانبية (Side Stakes) على (أ) خيرة السطح (ب) فرق
الارتفاع بين سطح الأرض الطبيعية بجوار وتد خط الوسط
وسطح الأرض الطبيعية بجوار كل من الوتدين الجانبيين (الأيمن
والأيسر) - غالباً ، لا يحتاج الأمر لأكثر من ثلاث محاولات .

5- عندما يكون سطح الأرض الطبيعية (Natural Ground) منسطحاً
نسبياً Relatively Level فله يمكن من موقع واحد لجهاز التسوية
(قرب المقطع العرضي المختار) إجراء كافة القراءات اللازمة
لتحديد قيم المسافات الرأسية (فروق الارتفاعات ، خفر ، ردم)
للأرصفة بجوار الأوتاد الثلاثة والخاصة بكل مقطع عرضي .
وعلى أي حال ، تبقى وعورة الأرض هي العامل المسيطر بهذا
الشان . كذلك يجدر بالفرق أنه لا بد من الاستناد (سواء عند
الابتداء أو عند الانتهاء) إلى علامات مضمومة (Bench Marks)
دقيقة ومناسبة على مقربة من المقاطع العرضية المتكعبة على
طول محور المشروع .

6- إن طرق حساب اشتقاق المناسيب (Elevation) المختلفة بجوار
الأوتاد هي نفسها تماماً المستخدمة في طرق التسوية الاعتيادية
(Ordinary Differential Leveling) .

7- تكون عادة لوتاد خط الوسط (Center Station) ظاهرة في الطبيعة ومغروسة تماما في الأرض ومؤشر عليها (يوضح) رقم المحطة (Station) لما تباعدت لوتاد خط الوسط هذه بقرنلوح بين 10m إلى 50m .

8- من خلال معلومات المسألة (Given Material) حول المقطع العرضي المقتر ، التي تشتمل على المنسوب التصميمي لخط القاعدة إضافة إلى عرض القاعدة والميول الجانبية ، يمكن رسم كروكي (Sketch) لهذا المقطع العرضي ويكمل أجزاءه باستقناء خط سطح الأرض الطبيعية . بالنسبة لخط سطح الأرض الطبيعية (Natural Ground Line) فيجري رسمه أو تحديده بعد اكمال جدول الصلالت الخاص بالمقطع حيث ستكون وقتئذ منسوب الأوتاد الثلاثة (الأوسط والأيسر والأيمن) إضافة إلى منسوب المواقع التجريبية قد تحددت جميعا .

9- إذا جرى رسم جميع المقاطع العرضية لسطح الأرض الطبيعية (بعد إنجاز كافة الأعمال الميدانية المتعلقة بتعيين مناسيب النقاط المختارة والممتدة المقاطع العرضية المختلفة والمتتالية) عند المحطات المختارة على طول محور المشروع و اكملت هذه المقاطع جميعا بإضافة مقطع الطريق العرضي المقترح أو المصمم (قاعدة Bank) والميول الجانبية (Side Slopes) إلى المقطع العرضي للأرض الطبيعية عند كل محطة فيمكن عندها قياس (باستخدام مسطرة قياس Scale) المسافة الأفقية بين الودت الأوسط المقطع العرضي المقترح ونقطة تقاطع كل من خط الميل الجانبي الأيسر (Left Side Slope) وخط الميل الجانبي الأيمن المقطع العرضي ذلك مع سطح الأرض الطبيعية ومن ثم يجري نقل هذه المسافات إلى الطبيعة على يمين ويسار كل ودت أوسط لتحديد موقع الودت الأيسر والودت الأيمن لكل مقطع عرضي على طول محور المشروع (باستخدام الشريط) (8-14) .

10- يحتاج تجارز القياسات الميدانية المتعلقة بتحديد مواقع الأوتاد إلى فريق من أربعة أشخاص ، الأول لمراقبة العمل وتكوين القراءات (Supervisor) والثاني لتشغيل الجهاز وأخذ القراءات (Instrument Operator) والثالث لحمل المسطرة والتنقل (Rodholder) والرابع لمساعدة الثالث في قياس المسافات الأفقية بين الأوتاد وغرس الأوتاد بتوجيهات من المراقب .

11- يكتب على أحد وجهي كل وتد (الأوسط والأيمن والأيسر) رقم المحطة (Station) إضافة إلى بعد التود عن يمين أو يسار التود الأوسط . أما على الوجه الثاني للتود فيكتب مقدار فرق الارتفاع، حفر Cut أو ردم Fill . عادة يكتب رقم المحطة وبعد التود عن يمين أو يسار التود الأوسط على الوجه الخلفي بينما يكتب عمق الحفر أو الردم على الوجه الأمامي ، أي باتجاه تزايد المحطات .

12- هناك لسان بمعنى واحد للأوتاد المستخدمة في أعمال الإنشاء والتنفيذ لمشاريع الطرق والبنية التحتية والمطارات والمجاري ... الخ ، أوتاد الميل (Slope Stakes) وأوتاد المنسوب التصميمي (Grade Stakes) . لن كلا الاسمين أو النوعين من الأوتاد يستخدمان لغرضين أساسيين هما أ) تحديد نقطة التقاء خط ميل السطح الجانبي (الأيسر أو الأيمن) للمقطع العرضي مع سطح الأرض الطبيعية ، ب) تحديد مقدار فرق الارتفاع (حفر أو ردم) بين منسوب الأرض الطبيعية بجوار التود والمنسوب التصميمي المقترح أو المطلوب .

1- حسب نوع المشروع وطوبغرافية منطقة المشروع في موقع المقطع العرضي إضافة إلى ظروف وشروط العمل الميداني ، يمكن غرس التود وفق أسلوبين هما (أ) بأن يغرس حتى يصبح منسوب رأس التود متساوياً للمنسوب التصميمي المطلوب تحقيقه

عند موقع الورق (ب) بأن يدرس في الأرض على عمق كاف
لثبته ثم يكتب على أحد وجهيه مقدار فرق الارتفاع اللازم (حز
أو ودم) . تستخدم هذه الأساليب في التنسير ، علة ، في
مشروع المجري والأرضة والطرق والسكك ... الخ .

في حالة غرس الأوتاد المستوي التي تصحح فيه منسوب رؤوسها
مطلوبة لمنسوب التصحيح المقررة عند مواقع هذه الأوتاد فقه يجري
علة دمان رؤوس الأوتاد بلون مميز - كاللون الأحمر مثلا - كي يسهل
ملاحظتها وتبينها عن غيرها من الأوتاد عند التنفيذ وكسي تشير
رؤوسها بوضوح إلى المنسوب المطلوب الوصول إليه .

بالطبع يمكن أن تصور سهولة مسوية غرس الأوتاد لهما وفي
كل الظروف بالمقايير المطلوبة لذلك وفي مثل هذه الحالات تجري
الإشارة بوضوح إلى المنسوب المطلوب الوصول إليه أن كل أعلى أو
أخفض من رأس الورق وبلي مقدار (أي الإشارة إلى الاتجاه والمقدار) .

في مشروع المجري على سهل المثال ، يجري لها (1) توجيه
خط نظر المنتظر (التوديات) بحيث يصبح ميله عن المستوى الأفقي
يقس الميل المطلوب، لخط التصحيح المستوي (Gentle Line) وعلى
ارتفاع معلوم وثابت فوق منسوب خط التصحيح أو (2) مدّ خط على
ارتفاع معين فوق خط التصحيح ويقس ميل خط التصحيح .

في الحالة الأولى (توجيه خط نظر المنتظر) فقه لتحديد مواقع مثلة ما
على خط التصحيح ، يجري رفع وتنحوض مسطرة مدرجة مثلة بشكل
رأس حتى يقرأ عليها بواسطة الجهاز مقدار يسوي الفرق بين منسوب
خط النظر ومنسوب خط التصحيح وهو مقدار ثابت يطلق عليه Gentle
Rod.

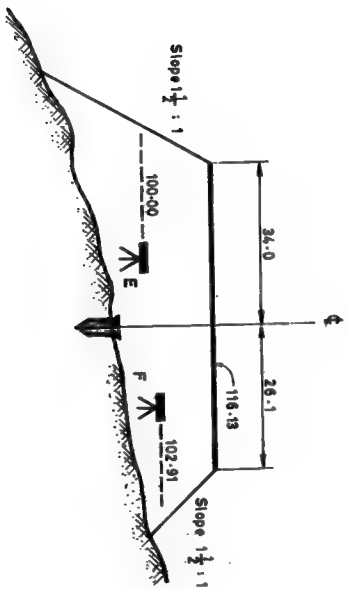
في الحالة الثانية (مدّ الخيط) يجري قياس مسافة رأية للأصل تسوي
فرق المنسوب ثابت بين أي مثلة على الخيط المشدود وبين خط
التصحيح المطلوب وذلك عند أي مثلة على طول هذا الخيط المشدود
فيتم بذلك الحد اللازم من المثلة التي لها من منسوب خط التصحيح .

يجري عادة تقسيم خط محور المشروع إلى عدة محطات يتاحلات
 ستلمية ، 20-15 في الأراضي المنبسطة و 10-8 في التلالمق الوعرة ،
 ويصوب عدد كل محطة مقدار فرق الارتفاع بين خط التصوب المطلوب
 وخط النظر (أي *Line of Sight*) ومن ثم يترس وكان على جاني محور
 المشروع عدد كل محطة من هذه المحطات ويثبت لوح خشي (على
 الوتدين) بشكل أقي ويوق عليه مسمار بحيث يكون متسوب السمار
 سلاويا التصوب خط النظر عدد المحطة المسترة . الآن يجري شد خط
 بين كل سمارين متجاورين (أي محلتين متجاورتين) ويحدد موقع أي
 نقطة بين المحلتين على خط التصميم المقترح يقاس مسافة رأية ثابتة
 للأمتل (بدءا من الخط) ويقدار الـ *Line of Sight* الشكل رقم (9-14)

[33] -

مسائل

- 14 - 1 ما المقصود بأوتاد الليل ؟
- 14 - 2 ماذا نقصد بحمل منحدر مقلده (1 : 3) ؟ ارسم كروكي في حالي الحفر والردم لمقطع عرضي .
- 14 - 3 باستخدام نفس معطيات المثال رقم (14 - 2) فيما عدّ :
- * للنسوب التصميمي لخط القاعدة : (60.75m) .
 - * عرض غط القاعدة : (20.00 m) .
 - * للبول الجانبية : (1 : 2) .
- المطلوب :
- 1 - تحديد موقع كل من وتدي للبول الجانبية الخاصة بالمقطع العرضي بالنسبة للوتد الأوسط .
- 2 - تعيين للمسافة الرأسية بين منسوب الأرض الطبيعية بموار هذين الوتدين ومنسوب خط القاعدة .
- 14 - 4 ما الفرق بين أوتاد الليل وبين أوتاد للنسوب التصميمي ؟
- 14 - 5 اذكر بعض الأساليب التي يتم بموجبها غرس أوتاد الليل في الميدان .
- 14 - 6 ما هي الإجابات الصحيحة لعلامات الاستفهام الواردة في الجدول التالي استناداً إلى البيانات الواردة في الجدول والشكل التاليين ؟



Rod Position	Elevation of the bench Mark = 98.80 Back Sight Reading = 1.20m Height of Instrument (H.I) at E = 100.00 m Right Hand Section, Station 1100					Elevation of the bench Mark = 98.80 Back Sight Reading = 4.11m Height of Instrument (H.I) at F = 102.91 m Right Hand Section, Station 1100				
	Reading of the level	1	2	Final	Reading of the level	1	2	Final		
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		
Center	0	80 L	71 L	69 L	0	40 R	49 R	46 R		
Substation of the level	?	?	?	?	?	?	?	?		
Base Elevation	116.13	?	?	?	?	?	?	?		
Cap. GR - H.I. - Base Elevation Pillar GR - Base Elevation - H.I.	?	?	?	?	?	?	?	?		
قراءة على المسطرة - ارتفاع المسطرة - ارتفاع نقطة الأساس	3.0	8.0	7.2	7.5	5.9	2.9	0.7	1.0		
Rod Reading	?	?	?	?	?	?	?	?		
الارتفاعات المقروءة على المسطرة	?	?	?	?	?	?	?	?		
Vertical Distance Cut - GR - Rod Reading Fill - GR + Rod Reading	?	?	?	?	?	?	?	?		
المسافة الرأسية بين سطح المسطرة ونقطة الأساس	?	?	?	?	?	?	?	?		
Side Slope	?	?	?	?	?	?	?	?		
الميل	?	?	?	?	?	?	?	?		
Vertical Distance X Side Slope	34	34	34	34	26.1	26.1	26.1	26.1		
مسافة عرض الميل × ميل	?	?	?	?	?	?	?	?		
Offset from the Center Stake to the Right Grade Stake.	?	?	?	?	?	?	?	?		
الانحراف عن مركز الدبابة إلى الدبابة اليمنى	?	?	?	?	?	?	?	?		
Mark Stakes	?	?	?	?	?	?	?	?		
أدوات وضع الدبابات على الأرض	?	?	?	?	?	?	?	?		

- 15 -

الفصل الخامس عشر

شئون المقاييس والدقة في مشاريع الطرق

**SCALES AND ACCURACY IN
HIGHWAYS PROJECTS**

15 - جدول تقسيم والفة في مشاريع الطرق :

1-15 مقدمة :

سبق أن أشرنا في الفصلين الثاني والثالث والسابع إلى تقسيم ومطهر الفقة لتبليط وتخطيطات محددة . في هذا الفصل سيجري بيان مقاييس للمنطقتات والمخراطات التي يقترح الاستعمال في المراحل التصميم للمنطقة لمشاريع الطرق . كذلك ستورد بعض التقسيمات والفترات الكنتورية المناسبة معها التي تلائم طوبوغرافية والمساحات الأرضية لمختلف مراحل الدراسة لهذه المشاريع . وفيما يتعلق بتخطيط الفقة ، ستورد بعض الجدول التي توضح مقايير الأعطاء المسموحة في التلبيط والتوقيع الألفية للقطاعات المستعرضة من المخراطات المستعملة لأغراض تصميم الطرق بالإضافة إلى حلول أخرى توضح مراقب الفقة للطرق لمختلف مراحل تصميم الطرق وأعطاء الإغلاق المسموحة للمساحات والزوايا المناسبة مع هذه المراقب . وأخيراً تبي القارئ إلى فقرة الرجوع إلى الجدول رقم (2-4) عند دراسة هذا الفصل حيث يبين هذا الجدول مقايير قصور الجدية والمنطقتات والمخراطات المستعملة منها إلى جانب الفترة الكنتورية والفة الفقة في التلبيط لكل من مراحل التصميم الثلاث لمشاريع الطرق .

2-15 مقايير للمنطقتات والمخراطات :

يبين في الجدول (1-15) مقايير للمنطقتات والمخراطات التي يجري استعمالها عادة في مراحل التصميم للمنطقة لمشاريع الطرق . كذلك يبين الجدول (2-15) تقسيمات والمخراطات (أو الفترات) الكنتورية المناسبة لها للاستعمال في المراحل التصميم . أما الجدول رقم (3-15) فيبين نسبة الفقة للمخراطات المسموح به في تقدير كميات الأعمال الفربية لكل مرحلة من المراحل الثلاث لإنشاء طريق ما [37] [52] .

الجدول رقم 1-25 مقياس التخطيط والتخطيط
الاستخدام في المراحل المختلفة لتصميم طريق صين [52]

المقياس (مقياس)	المرحلة (مقياس)
1 : 60 000 to 1 : 6 000	مرحلة الاستكشاف لتقييم التخطيط وتعيين القرارات الفنية (Reconnaissance Survey of Area)
1 : 12 500 to 1 : 2 500	مرحلة الاستكشاف للحفاظ على طريق مقترح وأخر ضمن المنطقة التي سير منها الطريق (Reconnaissance Survey of Route Alternatives)
1 : 6 000 to 1 : 600	المرحلة الأولية للتصميم (Preliminary Survey and Design)
1 : 2 500 to 1 : 100	مرحلة توقع المشروع في الطبيعة وعمل المخططات الإنشائية (Location Survey and Construction Plans)

المجلد رقم 15 - 2 المقاييس والفترات الكنتورية المتعاقبة لها

للاستئناس بها في دراسات الطرق [52م]

مرحلة التصميم الأولى (Preliminary Design)		مرحلة الاستكشاف والتفاضلة بين طريق مقترح وآخر ضمن النقطة التي سير منها (Recommendation Survey of Route Alternatives i.e. Comparison of Possible Routes)		استغلال أو نوع استعمال الأرض (Land Use)	طبيعة أو طوغرافية الأرض (Character of Topography)
مقياس الخريطة (Map Scale)	الفتره الكنتورية (Contour Interval)	مقياس الخريطة (Map Scale)	الفتره الكنتورية (Contour Interval)		
1 : 6 000 to 1 : 2 500	10 m to 5m	1 : 12 500 to 1 : 6 000	25 m to 10 m	مسطحة أو تالفة	جبلية (Mountainous or Rugged)
1 : 2 500 to 1 : 1250	5 m to 2.5m	1 : 7 500 to 1 : 5 000	15 m to 10 m	استغلالات والتربة	تلالية (Hilly or Rolling)
1 : 1 250 to 1 : 500	1 m to 0.25m	1 : 5 000 to 1 : 2 500	2.5 m to 1 m	كثيفة ، ودينية وحضرية	متوسطة (Flat or Nearly Level)

المجدول رقم 15 - 3 النسبة المئوية للخطأ المسموح به في تقدير كميات الأعمال
التربوية لكل مرحلة من المراحل الثلاث لإنشاء طريق ما [م 52]

كميات الأعمال التربوية Required Accuracies of Road Earthwork Calculations	النسبة المئوية للخطأ المسموح به في تقدير المرحلة (Stage)
30 % - 50 %	مرحلة اختيار موقع الشريط الأرضي الذي سيمر عبره الطريق (Corridor Location Stage)
10 % - 20 %	للمرحلة الأولية للتصميم (Preliminary Design Stage)
5 % - 10 %	للمرحلة النهائية للتصميم (Final Design Stage)

3-15 دقة التثبيت والواقع الأتية :-

تتبع في الجدول (4-15) حدود الأخطاء التي لا يجب تجاوزها عند حساب التثبيت والواقع الأتية (السلطات الأتية والإحداثيات السنية والميلانية) للتقاطع الناجمة على الترافع والمصعدة لأغراض تصميم الطرق وخلال ذلك ضمن المجال (1/2500) إلى (1/125000) . على سبيل المثال ، إذا تم تعيين التثبيت والواقع الأتية للمدة تقاطع طابوقة على خريطة طبوغرافية حاليها (1/50000) مصعدة لأغراض تصميم الطرق فإنه يجب أن لا يتجاوز الخطأ في النسوب لـ (90) تقاطع من هذه التقاطع الثلاثة المقدر التالي :-

$$\left(\frac{1}{3200}\right) // \left(\frac{1}{5000}\right) = 156 \text{ mm}$$

كما لا يجب أن يتجاوز الخطأ في النسوب لأي تقاطع من التقاطع الثلاثة المقدر التالي :-

$$\left(\frac{1}{1600}\right) // \left(\frac{1}{5000}\right) = 313 \text{ mm}$$

أما الخطأ المسموح في الواقع الأتية لـ (90) تقاطع فيجب أن لا يتجاوز المقدر :-

$$\left(\frac{1}{1600}\right) // \left(\frac{1}{5000}\right) = 313 \text{ mm}$$

كما أن الخطأ المسموح به في الواقع الأتية لأي تقاطع من التقاطع الثلاثة يجب أن لا يتجاوز المقدر :-

$$\left(\frac{1}{800}\right) // \left(\frac{1}{5000}\right) = 625 \text{ mm}$$

4-15 خطأ الإغلاق الأعظم في السلطات والزوايا :-

الجدول (5-15) يعين قيم أخطاء الإغلاق الأعظم المسموح بها في السلطات والزوايا الأتية والتثبيت للخطاطات المستعملة في أعمال مساحة الطرق . وكما سبق أن أشرنا في الفصل السادس الخاص بمساحة الخطاطات ، فإن لقرية الأولى (First Order) من مراتب الدقة (Order of Accuracy) تتسم مع خطاطات الدقة للمشايخ القطعية الكبرى كالأحلاق وعطوط السكك الحديدية والسدود . أما القرية الثانية من مراتب الدقة (Second-Order Accuracy) تتسم مع خطاطات الدقة في مشاريع الطرق السريعة والأحلاق الصغيرة (Short Tunnels) والتقاطعات الناجية (Interchanges) ومشايخ

جدول رقم 15 - 4 الأخطاء المسموحة في التمثيل والواقع الأفقية
للقطاع المستخرجة من الخرائط المستخدمة لأغراض تصميم الطرق [م 52]

الخطأ المسموح به من الخرائط (أي 100%) لا يتجاوز التقدير: ■	الخطأ المسموح به 90% من مجموع الخطأ المحددة من الخريطة لا يتجاوز التقدير: ■	
(1/1600) (Map Scale)	(1/3200) (Map Scale)	التضيق أو الارتفاعات المستخرجة من الخطوط المنكشورية (Elevations Determined from Contours)
(1/800) (Map Scale)	(1/1600) (Map Scale)	المواقع في المستوى الأفقي للقطاع والتفاصيل المنكشورية (Horizontal Positions of Planimetric Features)

الجدول رقم 15 - دقة الإغلاق الأعظم في المسافات (الأفقية والراسية) ونزولها الأفقية للمضلعات المستعملة في أعمال مساحة الطرق ، حيث ترمز N إلى عدد الزوايا المشتركة في الحسابات كما ترمز K إلى مجموع أطوال خطوط النظر (Line of Sights) المشتركة في حساب المناسيب بين نقطة البداية (نقطة الإسناد Bench Mark) ونقطة النهاية ضمن مذكورة المناسيب (Level Circuits) مقدرة بالكيلومترات [م 2] .

مترتبة الدقة المطلوبة (Order of Accuracy)	دقة الإغلاق في المسافات الأفقية (Relative Closure Error in Horizontal Distances, or Relative Positioning Error)	دقة الإغلاق في المسافات الرأسية (Closure Error in Vertical Distances)	دقة الإغلاق في المسافات الأفقية (Closure Error in Horizontal Distances)
المرتبة الأولى (First) تلائم هذه المرتبة متطلبات الدقة لمرحلة التصميم (المساحن الحضريه)	1 : 25 000	$4 \sqrt{k \text{ mm}}$	$2 \sqrt{N \text{ seconds}}$
المرتبة الثانية (Second) تلائم هذه المرتبة متطلبات الدقة لمرحلة التصميم (المساحن الأرياف)	1 : 10 000	$8 \sqrt{k \text{ mm}}$	$10 \sqrt{N \text{ seconds}}$
المرتبة الثالثة (Third) تلائم هذه المرتبة متطلبات الدقة لمرحلة التصميم (المساحن الأرياف)	1 : 5 000	$12 \sqrt{k \text{ mm}}$	$30 \sqrt{N \text{ seconds}}$
المرتبة الرابعة (Fourth) تلائم هذه المرتبة متطلبات الدقة لمرحلة الاستكشاف والتخطيط	1 : 2 500	$12 \sqrt{k \text{ mm}}$	$60 \sqrt{N \text{ seconds}}$

التطوير الحضري والأحواض المائية المصغرة وتقليد حركات القشرة الأرضية مسواء كانت تقنية أم رأسية . ومن التشرييع التي تناسبها لارتبة الثالثة من الدقة ، أعمال للمسح الطبوغرافي لمواقع للتشرييع الهندسية المصغرة كالبناء على مساحات مصغرة من الأرض وأعمال للمساحة الخاصة بيمين حدود الأراضي (Boundary Surveys) وغورها من التشرييع الهندسية المصغرة .

15- 5 الدقة للممكن تحقيقها من الخرائط المنشقة من الصور الجوية :

نميز هنا بين نوعين من الخرائط وفقاً لنوع نقاط الضبط (Control Points) الظاهرة على الصور الجوية التي يستند إليها في صنع الخريطة . النوع الأول هو الناتج من استخدام نقاط ضبط قيست إحداثياتها من خلال وسائل للمساحة الأرضية للباشرة (أي تليت أرضي) ولما النوع الثاني فهو الناتج من استخدام نقاط ضبط قيست إحداثياتها من خلال وسائل للمساحة الجوية (تليت جوي). بالنسبة للنوع الأول ، يمكن تحقيق دقة في الإحداثيات الأقوية تصل إلى :

10 to 15 μ (1/ Negative Scale)

وبالنسبة للنوع الثاني تصل الدقة إلى :

20 to 25 μ (1/ Negative Scale)

على سبيل المثال ، إذا كان مقياس الصورة (1/5000) وكانت هذه الصورة مزودة بنقاط ضبط قيست إحداثياتها بوسائل للمساحة الأرضية للباشرة ، فسيكون دقة الإحداثيات المستخرجة من الخريطة للمنشقة من هذه الصورة تصل إلى (5-7.5 cm) . أما إذا كانت هذه الصورة مزودة بنقاط ضبط قيست إحداثياتها بوسائل للمساحة الجوية فسيكون دقة الإحداثيات المستخرجة من الخريطة للمنشقة من هذه الصورة تصل إلى (10-12.5 cm) ، [5 م] .

- 16 -

الفصل السادس عشر

التقنيات الساحية الحديثة ودورها في مساحة البحار

16- التقنيات المساحية الحديثة ودورها في مساحة

المساحات

16-1 مقدمة:

كثيراً ما يرد ذكر الأعمال المساحية المختلفة في أغلب مراحل تنفيذ المشاريع الهندسية وخاصة الإنشائية منها. وأول ما يبادر إلى ذهن القارئ الكريم هي الأعمال المساحية الأرضية التقليدية والتي كانت وما زالت فعالة ومستخدمة في المشاريع الإنشائية المدنية الكبيرة والصغيرة. ولكن في الآونة الأخيرة وتطراً للتطور التقني والمعلوماتية الجبارة التي تعرضت لها هندسة المساحة في خلال العقد الحالي فإن القارئ بدأ يطور نفسه وفقاً للتطور الحاصل وأصبح يبحث عن كل جديد في علوم المساحة يقدم المجالات التطبيقية في جوانب عديدة مثل الدقة والسرعة وقلة التكلفة.

واستجابة لظموحات المهنس المصري في تطوير ملكته الهندسية في شتى المجالات فإن هذا الجزء من الكتاب خصص ليكون مدخلاً مسيراً لأحدث ثلاث تقنيات مساحية وعلومها والتي بدأت تفرض تواجدها وتفرض عالم الإنشاء والتطبيق والتنفيذ للمشاريع بشكل متسارع ومكثف. هذه الحقول الثلاثة هي مزيج من علوم مساحية عريقة في نظرياتها ولكنها حديثة في تقنياتها وهي:

1. أنظمة تحديد المواقع العالمية (GPS) Global Positioning Systems

2. المساحة الجوية الرقمية Digital Photogrammetry

3. أنظمة المعلومات الجغرافية (GIS) Geographical Information System

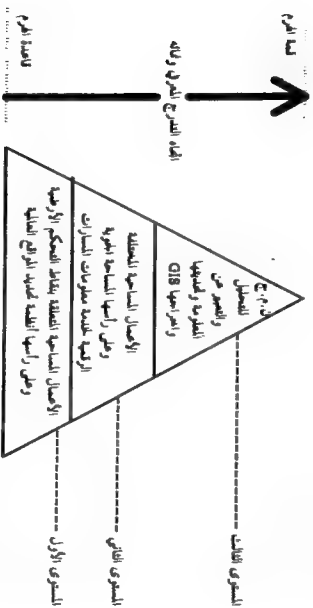
هذه العلوم الحديثة بتقنياتها المختلفة تميزت بإدخال الحاسب الآلي بشكل مكثف في أغلب الأعمال المساحية فاقعة بذلك باب المساحة الرقمية والجوية والأرضية مما أسهم في الرقي بالأعمال اليدوية كماً وكيفاً فأصبحت آلية وعلى حاسب كبير من الجودة والفعالية الاقتصادية.

2-16- تطبيقات التمثيل الماسية في مساحة المساحة

إلى السرد السابق لهذه العلوم بدءاً بالنظرة التوجيه (تحديد المواقع) التالية ثم المساحة الجوية ثم أنظمة المعلومات الجغرافية هو تسلسل منطقي مقصود يتناسب مع مراحل التطوير لهذه التقنيات من حيث جمع ومعالجة المعلومات المساحية التي يمكن استعمالها في مساحة المسارات وغيرها من التطبيقات. فمعلومات المسارات من حيث الدراسة الاستكشافية والتخطيطية وتصنيف وجمع المعلومات المنطوقة عن الأنشطة الأرضية والاستخدامات الأرضية ومعلومات التربة والمخزون الحي والبيولوجيا وغيرها مما يجب إبرازه للمهتمين للفني ومهتسي المسارات في صيغ مختلفة من شرائط وأرقام إحصائية وحلول وصور وتقرير، كل ذلك يحتاج من خلال خطوات متدرجة تتشكل في مجملها هرم معرفي (شكل 1-16) هام يبدأ بمعلومات نقاط التحكم الأرضية التي يندع فيها نظام تحديد المواقع العالمي (GPS). فهذا النظام يحذر من أخطاء وأسرع التقنيات التالية لأغراض إنشاء نقاط التحكم اللازمة للمسارات- وخاصة نقاط الضبط الأخيرة Horizontal Control. وهذا فظم تحديد المواقع تمثل القاعدة الأساسية التي تبنى عليها التطور المتقدمة الواردة في الشكل (1-16).

يلي هذه القاعدة الأساسية بنية وسطية في الهرم المعرفي. هذه المرحلة تحلّي فيها أعمال المسح الجوي الرقمي ذو الأغراض والمقاييس والدقة النوعية حسب نوعية التطبيق وأغراضه والأهداف المتنوعة من المشاريع والمعارف المطلوبة والمخدمة ضمن عقود المشاريع ذات العلاقة. فضلاً عن الصور الجوية قد يكون لأهداف استكشافية غير تفصيلية وبهذا دراسة مساحات كبيرة من سطح الأرض هي المطلب الأول ويحقق ذلك من خلال مسح جوي ذو مقاييس رسم صغير -طيران على طير مرتفع- وقد يكون التصوير ملون أو غير ملون وقد تستخدم صور الأقمار الصناعية إذا كانت مناسبة لهذا الغرض وعصراً بعد التحسين الكبير الذي طرأ على القوة التفرعية Resolution حيث بدأت تلوح الميز الواحد وسبقها العشرة أمثال وبهذا خمسة أمثال وذلك في القمرين الفرنسي والهندي على التوالي.

الترتيب الانساني للمستويات:



شكل (6-1) الهرم الهرمي المساحي خدمة معلومات السيارات

أما **البنية التحتية** في الحرم العربي فهي قمة الحرم وتمثلها أنظمة المعلومات الجغرافية (GIS). وعبر تشبيه هذه النظم هو النظر إليها كحاوية أو وعاء يتلقى المعلومات المختلفة للمعالجة وللشفرة ثم ترتب في هذا الوعاء ترتيباً مناسباً يفي بأغراض المستخدم بشكل مرئي ورشاقة فائقة ويساعد المستخدم في صناعة بعض القرارات من خلال ما يحتويه من وسائل تحليلية متقدمة ليصل المستخدم إلى قرار تقل فيه احتمالات الأخطاء وتزيد فيه الكفاءة التخطيطية والتصميمية للمشاريع ذات العلاقة بالمعلومات المكانية الجغرافية.

وبهذا فيمكن إيجاز تداعيل وتسلسل أنظمة التوقيع (تحديد المواقع) العالمي والمساحة الجوية الرقمية وأنظمة المعلومات الجغرافية في ثلاث عمليات متتالية على النحو التالي:-

- 1- نظم تحديد المواقع: حيث يتم إيجاد نقاط التحكم الأرضية بهذه النظم كمرحلة أولية تخدم معالجة وتوجيه الصور الجوية الرقمية حيث لا يمكن الاستفادة من هذه الصورة دون الحصول على نقاط تحكم أرضية دقيقة ومناسبة في توزيعها وهيكلتها على الصور الجوية لأغراض التوجيه والمعالجة لهذه الصور.
- 2- للمساحة الجوية الرقمية: حيث يتم استخدام هذه الصور المعالجة في استخراج معلومات كالمسوحات للتنوع وكذلك معلومات البعد الثالث (الطبوغرافية والكتنور) DEM ووضعها في هيئة مناسبة لأنظمة المعلومات الجغرافية وذلك من حيث التنوع للمكانية (خط، نقطة، مضلع) وإنتاج الخرائط الرقمية والصور المصححة.
- 3- أنظمة للمعلومات الجغرافية (GIS): حيث بعد تهيئة المعلومات لهذه النظم يتم تزويد هذه النظم بتواعد مطومات متخصصة تخدم أغراض التحليل المكاني والتخطيط ومساعدة اتخاذ القرارات المناسبة.

13-3- المساحة الجوية الرقمية Digital Photogrammetry

تتبع علوم المساحة الجوية من منظور تاريخي يجد أن للتقنية دور بارز في

تصنيف المساحة الجوية وذلك بناءً على ما تضيفه كل تقنية جديدة من قدرة حاسوبية ولصة آلية أوتوماتيكية لهذا العلم. من هذا المنطلق يمكن تمييز ثلاثة أنواع من المساحة الجوية وهي:

1. المساحة الجوية اليدوية التقليدية والمشفرة Encoders Analogue and Numerical Photogrammetry .

2. للمساحة الجوية التحليلية Analytical Photogrammetry .

3. للمساحة الجوية الرقمية Digital Photogrammetry .

تتفرد المرحلة الثالثة (النوع الثالث وهو مرحلة) -المساحة الجوية الرقمية- بكونها الوحيدة التي تتعامل مع الصور الجوية في هيئة نسخ أو صور رقمية Soft Copy بينما المرحلتين السابقتين تتعاملان مع الصور الجوية بأشكالها الفيزيائية (الورقية مثلاً) غير الرقمية.

المساحة الجوية الرقمية كانت نتاج نظريات وعلوم مساحية بدأ الرقمي منها حوالي عام 1960م بشكل بدائي عندما تم تأصيل المقارنة الضوئية الأوتوماتيكية لتحسس مواقع الانحراف parallax ومن ثم إزالته. أيضاً اشتملت تقنيات اختراع الرسم التحليلي على نسبة جيدة من الأوتوماتيكية عندما اخترعه هلافيا Helava عام 1957م. ثم أتت حقبة الستينات والسبعينات بتدخل أكثر للحاسب الآلي في عمليات معالجة الصور الجوية حيث أمكن تحريك حاملات الصور Image Stages آلياً في الراسم التحليلي وكذلك القدرة التوافقية Correlation لتحديد بعض المواقع في الصور أوتوماتيكياً لتحديد بعض نقاط الإسناد الجانبية Fiducial Mark وكذلك مراكز الصور Principal Points. ثم توالى بعد ذلك كثير من الإنجازات الحاسوبية والتقنية وصاحبها تقدماً في آلات التصوير الجوي وكذلك تقدماً في علم الاستشعار من بعد والأقمار الصناعية والتي صاحبها تقدماً تقنياً مذهلاً في مجالات أجهزة التحسس الرقمية Digital Sensors. هذه الآلات التي استغنت عن أفلام التصوير وبدأت في التعامل الرقمي

المباشر مع الصورة ضحت باباً حديثاً وأفقاً غير مسبوق في التحام قوتي الحاسب الآلي وعلوم المساحة الفضائية والجوية.

توالت بعد ذلك الإنتاجات الرقمية المتوسطة والعالية الدقة كما نرى في القمر الصناعي الفرنسي Spot ذي الكثافة التفريقية العالية (p10) وبعده القمر الهندي (p5) ووصل بعض أنواع الإنتاجات نحو (p1) في دقته التفريقية وبدأت هذه الأقمار تغزو فضاءنا لتزودنا بصور رقمية عالية الدقة، فائقة الجودة، كبيرة التغطية، ومناسبة التكلفة.

المسح الجوي الرقمي في المقابل اعتمد على تحويل الصور الجوية الفيزيائية (أفلاماً أو أوراقاً) إلى نسخ ضوئية Soft Copy يمكن استعمالها في بيئات الحاسب الآلي وذلك عن طريق الماسحات الضوئية Scanners ذات الجودة الهندسية العالية. أيضاً يوجد حالياً الآن تصوير (كميرات) رقمية يمكن أن تنتج صوراً رقمية مباشرة دون استعمال الأفلام مستفيدة في ذلك من مبدأ التصوير الرقمي المعروف في حصول الاستشعار من بعد. هذه الكميرات لم تصل بعد في جودتها إلى ما وصلت إليه الأفلام ولكنها تسير بخطى حثيثة نحو الأفضل حيث وصلت دقة بعض الكميرات البلورية الأرضية نحو (3 ميكرومتر).

كما ذكرنا للمساحة الجوية الرقمية تتميز بمعاملها المباشر مع الصور الرقمية. والصور الرقمية عبارة عن مصفوفة ثنائية رقمية 2-D matrix تتكون عناصرها من أرقام في هيئة عدد من الأعمدة (j) والصفوف (i) - $f(i, j)$. كل عنصر في هذه المصفوفة يدعى وحدة الصورة الصغرى (Pixel) ويعبر عن هذه المصفوفة رياضياً بالشكل المبسط التالي:

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(1,1) & f(1,2) & \dots & f(1,N) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(M,1) & f(M,2) & \dots & f(M,N) \end{bmatrix}$$

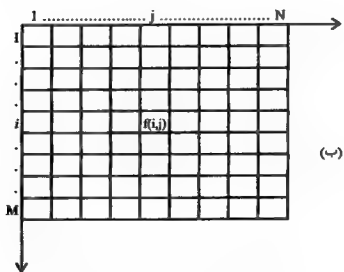
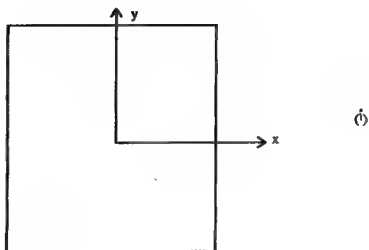
وبهذا فإن الأرقام المختواه في هذه المصفوفة هي أرقام تمثل شدة التدرج الرمادي والتي تبدأ بقيمة قدرها صفر في حالة الظواهر الجغرافية السوداء وتنتهي بقيمة عليا قدرها 255 في حالة الظواهر الجغرافية البيضاء وينحصر بين هاتين القيمتين (صفر و 255) بقية القيم الضوئية الواقعة بين الأسود والأبيض.

يختلف مركز محاور الصور الجوية الرقمية عن مركز محاور الصور الفيزيائية المعتادة في المساحة الجوية التقليدية. ففي التقليدية يكون المركز في وسط الصورة الفيزيائية بينما في حالة الصور الجوية الرقمية يكون غالباً للمركز للمحاور في الركن العلوي الأيسر، شكل (16-2).

16-4- معالجة الصور الرقمية:

عندما تصبح الصور جاهزة في شكلها الرقمي فإن هناك عدد كبير من المعالجات المختلفة التي تجرى على هذه الصور. هذه العمليات متعددة ومتباينة من حيث التقدم ودرجة التعقيد وذلك وفقاً لما يملحه التطبيق المتوقع لهذه الصور. وقد تبدأ للمعالجة بعمليات بدائية ميسرة مثل إجراء التحسينات **Image Enhancement** المناسبة التي تستخدم أغراض التفسير بالعين المجردة وقد تكون عمليات أكثر تقدماً تستخدم غايات التصنيف الآلي **Image Classification** لخصائص هذه الصور كما قد تكون عمليات غاية في التقدم حيث يراد منها متطلبات إنتاج خرائط طبوغرافية وهندسية دقيقة حيث تخضع لعمليات التوجيه الداخلي **Interior Orientation** وما يليها من عمليات للتوجيه النسبي **Relative Orientation** ثم التوجيه المطلق **Absolute Orientation** والتي تكون عمليات أساسية لعدد آخر من المعالجات المتقدمة.

مساحة المسارات قد تكون أحد الأهداف الرئيسية التطبيقية التي تستلزم الصور الجوية الرقمية لحلقتها. فلو افترضنا أن المواصفات الأساسية للصور الجوية الرقمية لأعمال المسح الجوي تحققت (مثل التناخل الأمامي (60٪) والتناخل الجانبي (30٪)، والتعامد... الخ) فإنه يمكن وبشكل إجمالي إنجاز الخطوات الرئيسية التي



شكل (2-16) محاور الصور التقليدية (أ) والرقمية (ب)

يتم تطبيقها على هذه الصور الرقمية بهدف استخراج معلومات تخدم أغراض مساحة المسلات في الآتي:

- (1) استخدام البرامج المتخصصة في معالجة الصور الرقمية وتهيئة هذه الصور لتكون في شكلها الرقمي الصحيح الصالح للاستخدام في بيئات الحاسبات الآلية.
- (2) إجراء عمليات التحسينات الأولية المناسبة على هذه الصور لتكون مقبولة للعين وللمجلات الأخرى *Image Enhancement* وذلك من خلال اختيار التباينات الضوئية المناسبة *Histograms*.
- (3) رصد علامات الإسناد الجائبة *Fiducial Marks* في كل صورة لأغراض التوجيه الداخلي وذلك باستخدام القارة أو ما يحمل عليها للتصويب على مراكز هذه العلامات وتسجيل موقعها في ملف خاص.
- (4) إعداد للآلة الرقمي الخاص بتقرير كفاءة الكاميرا (*Camera Report*) وذلك فيما يوزني أو يقابل علامات الإسناد المرصودة في خطوة (3) وغيرها من المعلومات (مثل البعد البؤري ونقطة التركيز) وذلك سيستخدم العمليات الحاسوبية الخاصة بنقل المحاور *Coordinate Transformation* وكذلك عمليات التوجيه الداخلي للمخفية.
- (5) بناءً على مطبوعات الخطوات (3) و(4) تجرى عمليات التوجيه الداخلي للحصول على المعلومات المناسبة لها لاستخدامها في الخطوات اللاحقة.
- (6) لأغراض التوجيه النسبي ولإطلاق يتم التصويب بالقارة أو ما يقوم مقامها على عددٍ كافٍ من نقاط التحكم *Control Points* الواضحة على هذه الصور والتي لها قيم حقيقية معروفة على سطح الأرض.
- (7) إعداد ملف نقاط التحكم الأرضية الحقيقية لمقابلة لصورها المرصودة في خطوة (6).

8) إجراء عمليات التوجيه التي تقضي في محصلتها إلى تحويل الصور إلى صور مرتبطة بمحاور الكرة الأرضية (توجيه مطلق) وتعبر عن واقع معلومات المساحة على سطح الكرة الأرضية. ويمكن أيضاً إجراء عمليات التكيف لنقاط التحكم الأرضية عن طريق عمليات التثليث الجوي وذلك للحصول على عدد أكبر من نقاط التحكم الأرضية الإضافية المحسوبة بناءً على معلومات نقاط التحكم الأرضية الأولية.

9) إنتاج النموذج الأرضي الرقمي ثلاثي الأبعاد Digital Elevation Model (DEM) لكامل منطقة الدراسة وذلك عن طريق القراءات المختلفة لعدد كافٍ ومنظم من النقاط من خلال الرؤية التصميمية للصور المزدوجة التي تغطيها الإحساس أثناء الرصد والمتابعة باليد الثالث لشكل الأرض بظواهرها الجغرافية المختلفة (الأودية- الجبال- السهول...)

10) إجراء عمليات التصحيح للصور Image Rectification وذلك باستعمال معطيات الخطوة (9) DEM- والتي تنتج لنا صوراً جوية متعامدة مصححة Orthophotos. وغالباً من الأخطاء الأساسية وأيضاً موجهة توجيهها مطلقاً للشمال مما يجعل هذه الصور المصححة تقوم مقام الخرائط الحقيقية.

11) استعمال جميع معلومات مساحة المسارات وذلك عن طريق الاستزمام لهذه المعلومات باستخدام الفأرة من الصور المعدة في خطوة (10). هنا الاستزمام قد يكون متقدماً ويؤخذ في الاعتبار إعداد معلوماته في هيئة تناسب أنظمة المعلومات الجغرافية فيما بعد وذلك مثل الرمز (التشفير) للبيانات للظواهر وإعطائها ما يناسبها من صيغ (مثل نقاط، خطوط، مساحات) طوبولوجية وهندسية. ومن هذه الخطوة يمكن استخراج وعمل التالي:

أ. إنتاج خرائط شبكية نقطة Raster Maps وكل ما يلزم هو وضع لمسات

إخراجية على الصور المصححة Orthophoto Maps مثل إضافة التسميات وشبكات المجلور ومقياس الرسم وغير ذلك مما يلزم الخرائط المصورة سهلة الفهم والتفسير.

ب. إنتاج خرائط خطية تقليدية Vector Maps.

جـ- إنتاج مزيج من الخرائط الرقمية التقطية الشبكية وكذلك الخطية وإنتاجهما معاً لتعطي قوة اتصال وتأثير على التلقي مما يري مفاهيم الخارطة ويزيد من القدرة التفسيرية لها حتى من غير المختصين في الخرائط.

تتميز هذه المعلومات للمعالجة المتأخرة من الصور الرقمية بعدد من الميزات أهمها سهولة تبادل هذه المعلومات بين الحاسبات الآلية ونقلها لمواقع مختلفة إلكترونياً كذلك تمتاز بسر وسهولة تحديثها مستقبلاً بأقل تكلفة ممكنة حيث يمكن استعمال الصور الجوية الحديثة المعالجة كمخلفية للخرائط الرقمية القديمة ومن ثم تحديد المناطق التي تغيرت وتحتاج إلى تحديث ومن ثم تحديثها إلكترونياً دون المساس بباقي أجزاء الخارطة التي لم يحصل فيها أي تغير. وبالتالي فإن أسلوب تحديد ومعرفة مواقع التحديث في الخرائط الإلكترونية يزيد من كفاءة التحديث كما أنه يقلل التكلفة ويختصر المدة الزمنية اللازمة لإنتاج العمل وتحديث الخرائط بالطرق التقليدية المضادة. كذلك تمتاز أعمال المسح الجوي الرقمي للمسارات وغيرها بالقدرة الفائقة على إجراء أعمال تخطيطية متقدمة على الصور ووضع عدد من البدائل لها وتكرار المحاولات وإجراء التحليل والدراسات للبدائل لوضع للمسارات في مواقع مختلفة وتقويم هذه البدائل هندسياً كما بيئياً واجتماعياً واقتصادياً.

16-5- أنظمة تحديد المواقع العالمية (GPS) Global Positioning Systems

(ن.ت.م.ع.) :

ملف:

تقدمت التقنيات الخاصة بعلوم هندسة المساحة تقدماً مذهلاً خلال العقد المنصرم من هذا القرن وتبع هذا التقدم تغيرات هائلة في مفهوم علوم المساحة وطرق ووسائل الرصد وفي بعض النظريات المهمة مما حدى بكثير من مراكز وحاصلات العالم للتحصص في هذه العلوم إلى السعي نحو تغيير مسمى "مساحة" إلى بعض الأسماء الحديثة الأكثر واقعية وشمولاً لما يجري على أرض الواقع في هذا الخصوص. فعلم المساحة الحديث يكتشف علوم الفلك وعلوم الاستشعار من بعد وعلوم الأقمار الصناعية وعلوم المسح بالليزر وعلوم الجاذبية وعلوم الإحصاء والرياضيات وعلوم للمسح الجوي التحليلي والرقمي وعلوم أنظمة المعلومات الجغرافية والكلوتورافية وعلوم الجيوديسيا وغير ذلك كثير مما جعل للمسمى الحالي "مساحة" مسمىً ضيقاً في نفسه لا يعبر بهندقة ودقة عن مكتشفات هذا العلم وواقعيته وفعالياته.

ن.ت.م.ع. يعتبر أحد أعظم الثورات المساحية الجبرلة التي استحدثت في مجال علوم هندسة المساحة حيث يوجد حالياً 24 قمراً صناعياً في حالة تشغيلية على مدار الأربع وعشرون ساعة وفي شتى الأحوال والظروف الجوية ليلاً ونهاراً- ومنظمة لكل بقاع الكرة الأرضية. تدور هذه الأقمار في مسارات شبه دائرية وتسكن الفضاء على بعد 20200 كم فوق كوكب الأرض.

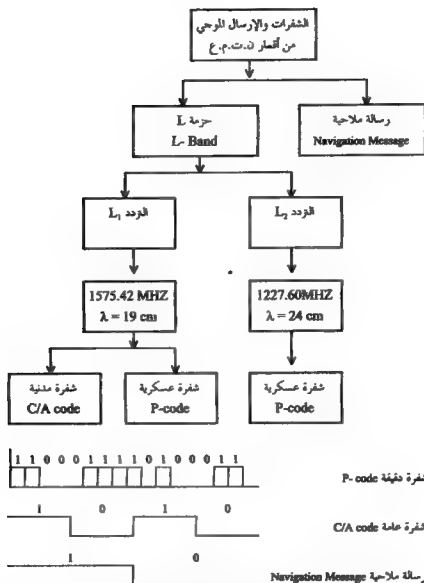
لهذه الأقمار مواصفاتها المتميزة والتي تميزها عن غيرها من الأقمار الأخرى مثل أقمار الاتصالات- التي بدأت تنزو فضاء الأرض- بزمن قدر ن.ت.م.ع نحو 400 كجم ويعد في طاقته التشغيلية على صفيحتين لامتصاص الطاقة الشمسية كما أن هذه الأقمار تحتوي على ثلاث بطاريات احتياطية تسمى بطاريات كاديوم النيكل Nickel Cadmium. هذه الأقمار تحمل أجهزة متخصصة لإرسال إشارات Signals محددة

للمستقبلات (الموازيات) الأرضية. وعندما تقول القمر الصناعي فنحن نقصد هذه الأجهزة المتخصصة. كل قمر صناعي يصدر نوعين أساسيين من الترددات frequency ترسل خلالها المعلومات للأرض. التردد الأول فتره 1575.42 ميغا هيرتز (1575.42 MHz) ويدعى L1 وطوله الموجي يقدر بحوالي 19 سم. أما التردد الثاني فتره 1227.60 ميغا هيرتز (1227.60 MHz) ويدعى L2 وله طول موجي يقدر بنحو 24 سم.

هذه الترددات تنمط أو تشفر في جعلها إلى نوعين أساسيين من الشفرات وإلى رسالة ملاحية. الشفرة الأولى تخدم أغراض التحديد القياسي للمواقع Standard Positioning Service (SPS). وهذه تدعى بالنمط أو الشفرة العامة Coarse Acquisition (C/A). وهذه الشفرة (C/A) صممت للأغراض المدنية. أما النوع الثاني أو الشفرة الثانية فهي تخدم التحديد الدقيق للمواقع Precise Positioning Service (PPS). وهذه الشفرة تدعى بالنمط أو الشفرة الدقيقة (Precise Code (P-Code). وهي دائماً تنمط على الطول الموجي الثاني L2 وصممت لخدمة الأغراض العسكرية. جميع موجات أقمار د.ت.م.ع. هي موجات أو ترددات مصنوعة التردد الأساسي 10.23 م.هـ (10.23 MHz) الذي تستطع الساعة الذرية المحمولة على الأقمار الصناعية Onboard Atomic Clocks. فشلاً التردد L1 يشتق من التردد الأساسي وذلك بضرب التردد الأساسي في 145:

$$1575.42 \text{ MHz} = 145 \times 10.23$$

ومثل ذلك يمكن القول عن L2 بأنه حصيلة ضرب 120 في التردد الأساسي 10.23. وهناك أمور كثيرة دقيقة في هذا المجال لا يتسع هذا الكتاب لذكرها. شكل (16-3) بين نمطاً مبراً للترددات الأساسية الصادرة من أقمار د.ت.م.ع. وبمعاليتها المدنية أو العسكرية كذلك يبين الشكل (16-3) أنواع هذه الترددات كشفرات ورسائل ملاحية ثنائية للقوم وشكل كل شفرة من حيث الترميز.



شكل (3-16) تمثيل بياني للوحدات الأساسية الصادرة من أقمار - ن ت م ع -

16-6- مفهوم الرصد وتحديد المواقع للمعارك:

إن مساحة للمعارك يلزمها عدد كافي من نقاط التحكم (الضبط) الأفقية والرأسية $Horizontal \ and \ Vertical \ ground \ Control \ Points$. هذه النقاط يجب استحداثها وإنشائها إذا كان لا يوجد في منطقة الدراسة أو قريب منها نقاط تحكم سابقة الإنشاء. كما يجب ربطها بنقاط التحكم القريبة إن كان يوجد في منطقة الدراسة نقاط سبق إنشائها. نظام تحديد المواقع العالمي يعتبر من أفضل وأدق وأسرع الأجهزة للمساحة الحديثة التي يمكن استخدامها لأغراض رصد وإيجاد محاور نقاط الضبط الأفقية حيث تصل دقته النسبية إلى جزء من المليون (IP.P.M) ويتحقق عملياً أجزاء من المستويات في الدقيقة.

ومفهوم الرصد يمكن إبرازه من خلال معرفة الجاهيل المطلوب إيجادها. فنحن نريد تحديد موقع نقطة ما (P_i) على سطح الكرة الأرضية فإن هذا يعني أننا نريد معرفة ثلاث معلومات أساسية عن هذه النقطة وهي المحور الأفقي. بمركبته السينية (s أو x) والصادية (v أو y) وأخيراً المحور الرأسى z أي (x,y,z) . كل معلومة من هذه المعلومات ينظر لها على أنها معلومة مجهولة ونحتاج إلى تكوين معادلة رياضية للتعويض عنها عملياً. وبهذا فإن ثلاثة جاهيل لدينا (x,y,z) نحتاج إلى تكوين ثلاث معادلات رياضية وكل معادلة رياضية يمكن تحقيقها من خلال رؤية جهاز الاستقبال (الهوائي) لقمر صناعي ومن ثم ثلاثة أقمار صناعية مرئية للهوائي تضمن لنا إيجاد ثلاث معادلات رياضية تفي بإيجاد حلٍ وحيد $Unique \ solution$ لهذه المعلومات المجهولة (x,y,z) .

ولكن التطبيق الواقع لعمليات الرصد ومن وجهة نظر مساحة ثابتة وبسبب تدخل الأقمار الصناعية في عمليات الرصد ومساعاتها الزمنية وأخطائها المتوقعة فإنها حوت العادة على إضافة مجهول رابع للمجاهيل الثلاثة السابقة. هذا المجهول الجديد يسمى خطأ الساعة ويرمز له بـ (δ) لتصبح الجاهيل الثلاثة (x,y,z, δ). وينفس

التقويم السابق فإن حل هذه الجاهيل الأربعة حلاً وحيداً يتطلب تكوين أربع معادلات رياضية لا تنأى إلا برؤية الموائي لأربعة أقمار صناعية على الأقل في آن واحد. ومن ثم فإن الحد الأدنى المطلوب لإيجاد نقطة معهولة على سطح الأرض هو رؤية 4 أقمار صناعية في آن واحد. وحيث أن للحل الوحيد عناصر كثيرة فإنه يفضل دائماً رصد أكثر من أربعة أقمار صناعية (8-12 قمر) حتى يكون هناك حل عن طريق حسابات الضبط المصغرى *Least-Square Adjustment* التي توفر لنا الوسيلة المناسبة لمعرفة دقة أعمال الرصد للمسارات والطرق وشاطها ومعلوماتها المتنوعة.

تكوين للمعادلات الرياضية اللازمة لحل هذه الجاهيل لها طرق عدة ومن أبسطها الاعتماد على مبدأ معرفة للمسافة بين الموائي وبين القمر الصناعي ضمن عدد من التقنيات الإلكترونية والساعات الذرية للسقولة عن الإشارات للرسلة والمستقبلة بين القمر وبين الموائي. هذه للمسافة المصنوعة بناء على السقولة للإشارة في الفراغ وقبل تصحيحها تسمى المسافات المذبذبة *Pseudorange (di)*. الخطأ المحتمل في كل مسافة بين الموائي وبين القمر الصناعي يرمز لها بـ Δd_i وفقاً لهذه الرموز وبالنظر إلى الشكل (16-4) يمكن تشكيل للمعادلات الأربع التالية لتحديد موقع الموائي P من خلال رؤية أربعة أقمار صناعية:

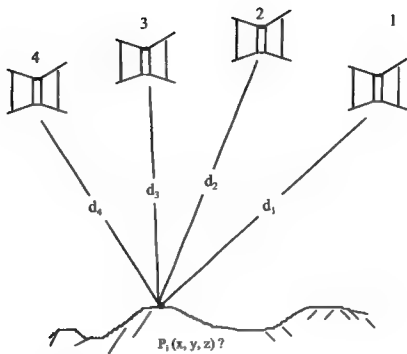
$$d_1 + \Delta d_1 = [(x_1 - x_i)^2 + (y_1 - y_i)^2 + (z_1 - z_i)^2]^{n/2}$$

$$d_2 + \Delta d_2 = [(x_2 - x_i)^2 + (y_2 - y_i)^2 + (z_2 - z_i)^2]^{n/2}$$

$$d_3 + \Delta d_3 = [(x_3 - x_i)^2 + (y_3 - y_i)^2 + (z_3 - z_i)^2]^{n/2}$$

$$d_4 + \Delta d_4 = [(x_4 - x_i)^2 + (y_4 - y_i)^2 + (z_4 - z_i)^2]^{n/2}$$

وبالتالي فيمكن إيجاد حل وحيد لكل من تقويمات Δd_i حيث أن كل من الموالر التالية للأقمار الصناعية مطومة ومعدلة ضمن ما يصل الموائي من معلومات أثناء الرصد.



شكل (16 - 4)

تحديد نقطة الموائي بناءاً على رؤية أربعة أعمار صناعية في آن واحد

7-16- مبادئ هندسة الأقمار الصناعية في الفضاء

تحاط الكرة الأرضية حالياً بستة مدارات خاصة بالأقمار د.ت.م.ج. هذه المدارات تمثل مستوى محلي على مستوى خط الاستواء يد (35°) كل مدار صمم بشكل شبه دائري ويضع كل مدار لعدد من الأقمار الصناعية. بكل مدار على الأقل أربعة أقمار صناعية في حالة تشغيلية حالياً. هذه الأقمار توزع في مداراتها بطريقة علمية دقيقة تضمن الرؤية الشاملة لعدد ككث من الأقمار الصناعية من أي نقطة على سطح الكرة الأرضية.

المواقع على سطح الكرة الأرضية يمكن أن ترى عدداً كبيراً من الأقمار وهذا لا يعني بالضرورة أن كل هذه الأقمار المرئية مفيدة في عمليات الرصد. فالرؤية شروطها لكي تكون مفيدة ومن ثم فإن هناك رؤية ضعيفة وهناك رؤية محسنة من وجهة نظر الرصد للساحي. ومن العوامل المهمة في تحديد مدى صلاحية الأقمار المرئية للرصد هو توزيعها المكاني المنتظم من وجهة نظر التغطية للرادار رصدها. وفذلك يستحدث دائماً زاوية للرصد تسمى زاوية القناع الرأسية. طو اعطت الزاوية (15°) كزاوية للقناع فإن أي قمر صناعي يراه الموائي ويقع في أي نطاق تحت الزاوية الرأسية (15°) يجلب عن الموائي ويبدو غير مرئي ولا تعزذ أرصاده لأنها ستكون أرصاداً قليلة الجودة.

وبالتالي فإن من أساسيات الرصد باستخدام د.ت.م.ج. هو التخطيط المسبق لمعرفة مواقع الأقمار الصناعية وعلدها وكيفية توزيعها ومن ثم اختيار أنسب الأوقات للرصد. أيضاً كما سبق الحديث يجب توفر الحد الأدنى من الأقمار الصناعية (على الأقل 4 أقمار صناعية) حتى يتم تحديد موقع الموائي وبفضل دائماً أن يكون العدد للرئي من الأقمار الصناعية أكثر من الحد الأدنى.

يلي هذه الاحياطات المبدئية إعداد المستقبل (الموائي) Receiver الإعداد المناسب حيث ينصب ويوزن بالطرق المساحية التقليدية المعروفة وباستخدام الميزات

(تفاعلات السوائل) للطاقة وباستخدام أشعة الليزر لعمل القياسات (حلت حديثاً محل الشقرون) وذلك مما يضمن ضبط تقنية ورأسية وتوجيه المستقبل وتساوت مع النقطة المراد رصدتها. بعد ذلك يلزم إدخال المعلومات الأولية اللازمة لبدء الرصد السليم وذلك مثل ارتفاع اللوائي وارتفاع الحامل وعلاوة نقطة الضبط الجيوديسية البداية والوقت والتاريخ وغير ذلك مما يتطلبه الرصد الصحيح.

يلي هذه الاستعدادات الأولية تحديد نوعية الرصد GPS- mode. هذه النوعية يفترض أنه تم التخطيط لها مسبقاً وإقرارها بناءً على أهداف المشروع (ملحوظة: عندما نتحدث عن ن.ت.م.ع في هذا الكتاب فنحن نتحدث عن النوع الجيوديسي للتقدم منها مثل Differential GPS ولا نتحدث عن الأجهزة للملاحة البسيطة). وبعد إقرار نوعية الرصد فإن جميع أعمال الرصد تصبح روتينية وتكراراً لما يحصل في أول نقطة يتم رصدها.

لإيضاح أنواع الرصد العملية يمكن سرد أهم أنواعها بشكل مختصر مع شرح قليل يبين أسس الطرق العملية لكل نوع. تطبيقياً يمكن تمييز نوعين أساسيين من الرصد باستعمال ن.ت.م.ع شكل (16-5).

1- الرصد الثابت Static Observation.

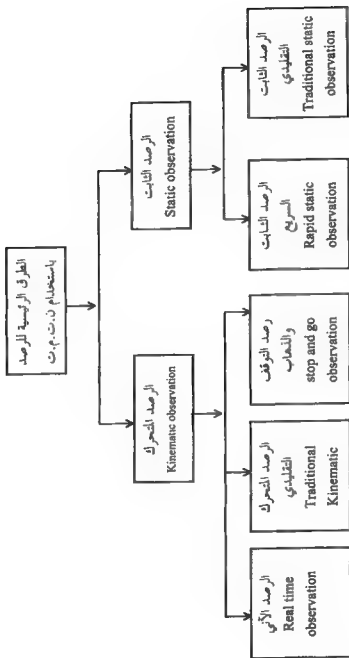
2- الرصد للتحرك Kinematic Observation

لكل من هذين النوعين أقسامه وطرقه وميزاته ولكن بصفة إجمالية الرصد الثابت يستخدم في الأرصاد الدقيقة. ونورد الآن أقسام كل نوع وطريقته:

الرصد الثابت Static Observation:

الرصد الثابت إجمالاً يعتبر دقيقاً ولكن دقته تقلوت حسب نوعيته ومتطلبات المشاريع. ينقسم الرصد الثابت إلى نوعين من الأرصاد:

أ - الرصد الثابت التقليدي ويدعى بالصيغة الثابتة Static- Mode. وطريقته كالآتي:



شكل (5-15) رسم مخطط يبين طرق الرصد الحالية المعروفة باستخدام نظم تحديد المواقع العالمية

يتم تثبيت أحد المستقبلات (الموايات) على نقطة تحكم موثوقة ومعلومة الإحداثيات x, y, z بينما يثبت المواي (أو الموايات) الأخرى على النقط الجليدة التي نرغب في تحديد إحداثياتها. يبدأ الرصد بهذه الأجهزة بعد إعدادها الإعداد المناسب الذي سبق شرحه ويستمر الرصد لمدة تصل إلى 60 دقيقة وقد تزيد. هذه المدة يحكمها عوامل كثيرة منها التوزيع الميكانيكي المناسب للأقمار الصناعية أثناء الرصد ونوع المواي ومقدار المسافة بين جهاز الاستقبال المتواجد على نقطة التحكم وبين بقية النقاط المرصودة. بعد انقضاء المدة المحددة للرصد يمكن نقل الأجهزة إلى نقاط جديدة وإعادة الرصد لمدة ماثلة لتلك النقاط بنفس الطريقة التي عملت مع النقاط السابقة. مدة الرصد أيضاً تتأثر بالأحوال الجوية. هذه الطريقة هي أدق أنواع الرصد وتستخدم لأغراض تطبيقية تتطلب معرفة المواقع الجغرافية بدقة عالية جداً.

ب) الرصد الثابت السريع ويدعى بالصيغة الناتجة السريعة **Rapid Static Mode** ويمكن تلخيص طريقته العملية كالآتي:

تستخدم هذه الطريقة في رصد نقاط متقاربة (نحو 15 كم) باستخدام الموايات ثنائية التردد **Dual frequency**. حيث يتم نصب أحد المستقبلات على نقطة تحكم معلومة الإحداثيات ويسمى هذا المواي باسم المواي القاعدي أو الثابت **Stationary Receiver**. أما المستقبلات الأخرى فإنها تنصب على النقاط المجهولة وتحرك من نقطة مجهولة إلى أخرى بشكل أسرع مما ذكر في النوع السابق. هذه الموايات المتحركة تسمى **Rover** ومدة الرصد لها على النقاط المجهولة تتراوح بين 5 إلى 10 دقائق فقط. أيضاً من مبرراتها أنه أثناء الانتقال من نقطة مجهولة إلى أخرى يمكن إغلاق الموايات لتوفير الطاقة وتحقيق هذه الطريقة الدقة لتصل إلى عدد من المليمترات.

الرصد المتحرك Kinematic Observation :

الرصد المتحرك أو الديناميكي له تطبيقات عديدة كما أنه يناسب في الأعمال

التي تتطلب السرعة. وهو بدوره ينقسم إلى ثلاثة أقسام رئيسية نوردما ونغسل طرق تطبيقها فيما يلي:

أ- رصد التوقف والذهاب ويسمى صيغة التوقف والذهاب **Stop & Go Mode** ويمكن الحصول طريقته العملية كالآتي:

يتم مبدأ الإعداد للحوادث هذه الطريقة بنفس الطريقة التي تمت في الرصد الفائق السريع حيث يوضع أحد الحوائط على نقطة معلومة الإحداثيات بينما الحوائي الآخر يتم إعداده على نقطة مجهولة وانظاره لمدة تصل نحو 5 إلى 10 دقائق حتى يتم إعداده للرصد **Initialization**. بعد ذلك يمكن تحريك الحوائي الآخر (الوجود على النقطة المجهولة) إلى أي نقطة مجهولة أخرى (يمكن حمله يدوياً أو في سيارة أو بأي وسيلة أخرى) ثم الرصد تلك النقطة من خلال التوقف عليها بهذا الحوائي لمدة 10 ثوانٍ قسط وتستمر العملية بين تنقل وذهاب بين النقاط المجهولة والتوقف عند كل واحدة منها لمدة 10 ثوانٍ قسط. ولكن أثناء التنقل يشترط أساسياً أن لا تنطق الحوائط وأن لا يتصلق اتصالاً بالأقمار الصناعية. وعندما يحصل الانقطاع فإنه يجب إعادة الإعداد **Initialization** لمدة تتراوح بين 5-10 دقائق على النقطة الجديدة. ثم يبدأ بعد ذلك التحرك السريع والتوقف السريع. أثناء الانتقال لا يكون هناك رصد ولكن عند التوقف على النقطة لمدة 10 ثوانٍ فإن للشغل **Operator** يعني أمره للحوائي بالرصد.

ب- الرصد التحرك التقليدي **Traditional Kinematic** ويمكن أيضاً تطبيق هذه الطريقة كالآتي:

مفهوم هذه الطريقة يشبه مفهوم طريقة رصد التوقف والذهاب في جميع خصائصها وطرقها الفرق الوحيد هنا هو أن تعمل للشغل **Operator** في تحديد بداية الرصد تنفي في هذه الطريقة وتوضع بطريقة أوتوماتيكية ومن ثم فإنه بمقدور زمنية

المرصد يتم خلالها المرصد كائن بعد الجواز للمرصد بعد كل شائتين. أيضاً يلزم هذه الطريقة عدم التصلاج للاعتقال وهي طريقة مناسبة لرسم الطرق ورسوم ممرات السفن أثناء المرصد الصوتي وكذلك تطبيقها في مجالات المسح الجوي لتحديد مواقع آلة التصوير **Cameras** أثناء أخذ لقطة الجوية.

ج- المرصد الآلي التحرك **Real-Time Kinematic**. هذه أحد أسرع طرق المرصد ويمكن شرح مختصرها كالآتي:

أحد أهم متطلبات هذه الطريقة هو ضرورة الحصول على ترخيص من الدولة المعنية لضمان إيجاد اتصال مناسب بين الفوائت وطريقة المرصد في هذه الحالة تسير وفقاً للمعايير المذكورة في الحالة السابقة إلا أنه في هذه الطريقة لا تحتاج إلى إحلال خط قاعدة أو الانتظار لمدة 5-10 دقائق للمستقبل (الفوائي) التحرك عند بداية الفصل وذلك لأن الفوائي انشيت يرسل عبر لوحة الصولة **Cable and Carrier Phase** معلومات مهمة إلى الفوائي التحرك هذه المعلومات تحلّي نفس نتائج الانتظار من 5 إلى 10 دقائق على القطة دون الوقوف عليها ضلياً وهذه تحمل الإشكال والتعجيم الوحي **active mode** التي كانت عمل في الحالات السابقة عن طريق الانتظار والمرصد للتحقق من جودة على قطة البداية.

إن هذا الاختصار اليسر عن استخدام وتطبيقاته وطرق رسده هو مدخل فوري تخفي اشتمال على عرسيات كبيرة بملاوزت لكترو من التفاصيل الدقيقة التي تهم الفارمين والعصمين في علوم خدمة الساحة. ولتلك يصح بالرجوع لبعض الكتب والراجع المتخصصة في هذه النظم لأن أفراد الصنق والتفصيل.

16-8- أنظمة المعلومات الجغرافية (ن.م.ج) Geographical Information Systems (GIS)

Systems (GIS)

16-8-1 تعريفها وأنواعها:

أنظمة المعلومات الجغرافية ظهرت قديماً في شكلها اليدوي ولكنها لم تكن عملية نظراً لصعوبة التعامل الحسابي أو الرياضي معها. تقدمت بعد ذلك نظريات الرياضيات الجغرافية الفراغية المتمثلة في علم المواقع الفراغية أو "علم الموضعية" Topology والتي أسست حقيقة التعامل ولأول مرة مع الخرائط الرقمية في شكل رياضي علمي مكن من إجراء العمليات الحسابية المعتادة التقليدية من ضرب وقسمة وطرح وجمع وغيرها على الخرائط الرقمية. ثم زادت كفاءة هذه النظم مع تطور علوم الحاسب الآلي وعلوم المساحة الرقمية الجوية والأرضية مما سهل إعداد جميع أنواع الخرائط في هيئة رقمية (الخرائط الإلكترونية) صالحة للاستخدام في بيئات الحاسب الآلي المختلفة.

ومع ما يشهده هذا العصر من تقدم علمي ومعلوماتي إلا أن ن.م.ج لم تصل بعد إلى درجة عالية من التطور رغم وصول تطبيقاتها إلى درجات فعالة ومتقدمة جداً. يُعزى عدم وصول ن.م.ج إلى الاستقرار النظري المناسب، إلى سببين رئيسيين هما: حداثة هذا العلم وسرعة التغيرات في جوانبه التقنية وخاصة ما يتعلق منها بعلوم الحاسب الآلي وعلوم المساحة الرقمية، والتباين الشديد في مهارات وخلفيات المطبقين والمستخدمين لهذا العلم إذ يتفاوت من خلفيات وتخصصات أدبية إلى إنسانية إلى اقتصادية فعلية واجتماعية وإدارية وهندسية وغيرها.

لهذه الأسباب فإنه لا يوجد تعريف واحد وصل إلى درجة الإجماع لنظم المعلومات الجغرافية خلافاً لما حصل في العلوم الأخرى التي وصلت إلى استقرار نظري أكثر مثل ما نراه في علوم المساحة الجوية وعلوم الاستشعار من بعد. ومن ذلك فإن التعريفات الحالية لـ ن.م.ج تسير نحو الاستقرار حيث أن هناك إجماع على جزء كبير من خصائص ن.م.ج من قبل كل الفئات وأهم ما تجمع عليه هذه الفئات هو خاصية

القدرة التحليلية للكتانية *Spatial Analysis* القائمة التي تفتقر إليها الكثر من النظم التي تعمل مع المعلومات للكتانية مثل نظم الرسم المساعدة *CAD Systems* للمخططة. وتورد هنا تعريفاً وصفاً لـ *د.م.ج* يبين بحمل ما يجب أن يحتويه تصميمها في عصرنا الحالي:

"*د.م.ج* توصف بأنها نظم تكاملية تجمع بين الومج والأجهزة والكفاءة البشرية للوهلة للدراسة ورصد وتخزين واستدعاء ومعالجة ومغذجة وتحليل وتحديث وعرض المعلومات للكتانية بشقيها الوصفي والمختلبي (الذي) ذات الارتباط بالشبكة الوطنية الجيوديسية أو المحلية أو العالمية المعروفة في نظم محاور الكرة الأرضية ثم استنتاج كل ما من شأنه دعم القرار ونقله".

أنظمة للمعلومات الجغرافية تنقسم إلى قسمين رئيسيين حسب نوع المعلومات التي تعمل معها هذه النظم. القسم الأول هو أنظمة للمعلومات الجغرافية النقطية أو الشبكية *Raster GIS* التي تعمل مع وتبنى على أساس الصور الرقمية للتحفة مباشرة من وسائل الاستشعار من بعد أو من المصور الجوية التي حولت عن طريق الماسح الضوئي *Scanners* إلى صور رقمية. أما القسم الآخر من هذه النظم فهو نوع أسس ليعامل مع النقط والمخطوط للتحفة ولذلك سميت بنظم للمعلومات النقطية للتحفة *Vector GIS*. ويجب أن تأخذ في الاعتبار أن هذين النوعين بينهما تفاعل أي أن نظم للمعلومات النقطية يمكنها التعامل التثاوي مع المخطوط للتحفة وكذلك نظم للمعلومات النقطية النقطية يمكنها التعامل التثاوي مع الصور (المعلومات النقطية أو الشبكية). ولكل من هذه النظم محاسنه وموقع تطبيقه وميزاته وكذلك بعض موابن القصور فيه.

16-2-2- المكونات الرئيسية لنظم للمعلومات الجغرافية:

نظم للمعلومات الجغرافية مكونات أساسية. هذه المكونات أو المركبات تنظم صورة إجمال للقارئ عن ماهية هذه النظم. ويمكن إجمال مكونات *د.م.ج* في خمسة

مكونات رئيسية كما يبرزها شكل (16-6).

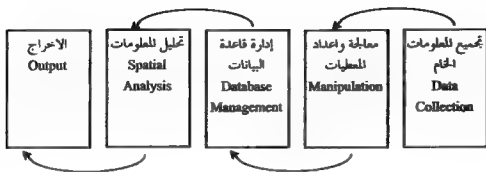
أول هذه المكونات يتمثل في تجميع المعلومات الخام Data collection. حيث يشمل كل العناصر الأساسية التي يمكن من خلالها جمع معلومات هذه النظم ومن ذلك وسائل الاسترقام اليدوي والآلي Manual & Automatic Digitization للمعرايط وتحويلها من صيغ ورقية إلى رقمية تسهم في التكوين الميكاني الرقسي الإلكتروني للمعرايط.

وثاني هذه المكونات هو معالجة وإعداد للمعطيات. حيث يتم في هذه الجزئية من النظام تحديد وتمييز العناصر الناطقة (المعرة) للمعرايط الإلكترونية وتشمل النقاط أو الفواصل (Nodes)، والخطوط (Line or Arcs)، والضلعات أو المساحات (Polygons) وذلك بما يتناسب مع هذه العناصر من إعدادات أساسية شحكة الظواهر الجغرافية الحقيقية حسب ما يتطلبه التطبيق وتحليلاته، شكل (16-7).

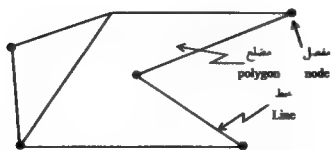
أما ثالث مكونات هذه النظم فمحوره إنشاء إدارة قاعدة البيانات. هنا يعني ضمناً إنشاء المناسب للمعلومات المحمولة في قواعد المعلومات. هذه للمعلومات في قاعدة البيانات تلتزج تحت مسمى ملفات Files. وللف ملفه ميسرة يتكون من عنصرين أساسيين هما (شكل 16-8):

1- السجلات Records: ويعبر عنها بصفر في جدول قاعدة للمعلومات. هنا الصف يشمل معلومات متنوعة عن ظاهرة جغرافية محددة. وهكذا فكل صف يخص بظاهرة جغرافية واحدة ولكنه يحتوي كل للمعلومات عن هذه الظاهرة.

2- الحقول Fields: ويعبر عنها بصمود في جدول قاعدة للمعلومات. هنا العمود يشمل معلومة واحدة فقط من حيث النوع ولكن هذه للمعلومة تصبر عن كل الظواهر الجغرافية المختواه في قاعدة للمعلومات.

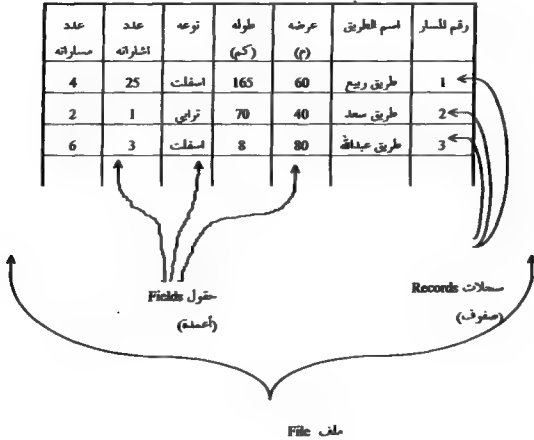


شكل 16-6 - مكونات نظم المعلومات الجغرافية



شكل 16-7 - العناصر المعبرة (الناطقة) في الخرائط الالكترونية

للكال للرسم أدناه توضع في التعبير عن معاني للصفات وحقولها وسجلاتها في قواعد للمعلومات الجغرافية. بين الكال جزءاً تحليلياً من ملف قاعدة معلومات ما.



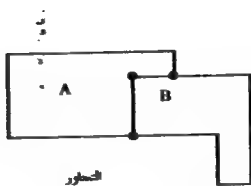
شكل 16 - 8 - محتوى لقاعدة البيانات

أما رابع مكونات م.ج. فهي المكونات التحليلية التي تستطيع أن تجيب على استفسارات المستخدم بكل ما من شأنه دعم قراراته وذلك وفقاً للشروط والمواصفات التي عليها المستخدم على النظام. وفي هذا الشأن أمور كثيرة لا يتسع المجال لذكرها ولكن يمكن القول أن هناك عدداً كبيراً من العلاقات المكانية Topological Spatial Relationships التي تتميز بها هذه النظم مثل الاحتوائية Containment والتكافؤ الكلي أو الجزئي والتجاور أو التلاقي Adjacency والافتصال disjoint وكذلك علاقات التجاور المتجهة Contiguity والتي يمثل شكل (16-9) بعضاً من هذه العلاقات.

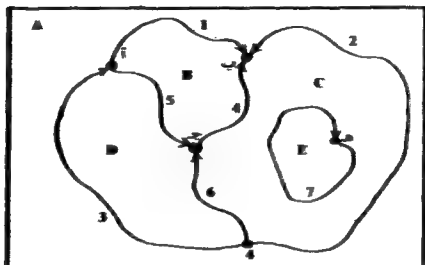
هذه العلاقات وغيرها هي مصدر العمليات المكانية المختلفة في م.ج. وهي السر الحقيقي للقوة الكامنة والقدرة الحقيقية التحليلية لأنظمة المعلومات الجغرافية التي يتم إخراجها على الطبقات الموضوعية Thematic Layers الرقمية التي تم تضمينها في النظام الممتن أثناء تصميم نظام للمعلومات الجغرافي، شكل (16-10).

16-8-3- أنظمة للبيانات الجغرافية ومساحة المسارات:

مساحة للمسارات تتميز عن غيرها من المساحات الأخرى بتدخل عناصر وعوامل متعددة تؤثر في اختيار المسار المناسب في مراحل التخطيط الأولية. ولذلك فعلى متخذ القرار أن يكون لديه قدرة فائقة على دراسة كل هذه العوامل والتوفيق بينها واستنباط عدد من الخيارات والبدائل بطريقة علمية ثم إصدار الحكم النهائي ومرمراته على اختيار المسار المناسب الذي يفي بالمتطلبات الهندسية والاجتماعية والاقتصادية والجمالية وغيرها من الاعتبارات المهمة. هذا التحليل وذلك التوفيق بين عناصر كثيرة وشديدة التباين يصعب التعامل معها يدوياً دون تدخل تقني آخر يساعد في ذلك.

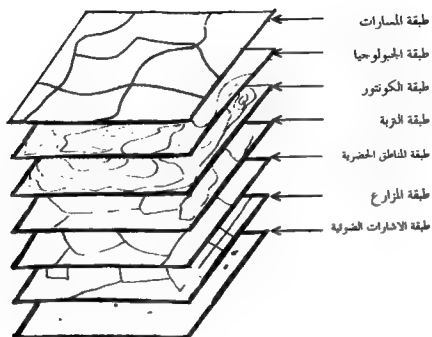


شكل (16-9-1) - أمثلة لبعض العلاقات الطبقية في نظم المعلومات الجغرافية



النقطة	من منطقة	إلى منطقة	المنطقة الأولى	المنطقة الثانية
1	أ	ب	A	B
2	د	ب	C	A
3	د	أ	A	D
4	ج	ب	B	C
5	أ	ج	B	D
6	د	ج	D	C
7	ج	د	C	E

شكل (16) - ب - مثال لملفات فيكتور النسيجية ختم ج



شكل (16-10) - مثال لبعض الطبقات المعلوماتية المتخصصة التي قد تحتويها د.م.ج.
من أجل تحليل معلومات وخيارات المسارات.

أنظمة المعلومات الجغرافية هي من أفضل أنواع العلوم التقنية التي تساعد في اتخاذ القرار المناسب في مثل مشاريع المسارات. تحتز هذه النظم بقدرة تحليلية فائقة يصاحبها توثيقاً إحصائياً وتحليلياً يجمع بين المعلومات المنتمية الطبقة (الخرائط الموضوعية) وبين يقيتها الوصفية (الاجتماعية- الجيولوجية، الاقتصادية، الجمالية...).

ودور نظم المعلومات الجغرافية لا ينتهي بنهاية اختيار المسار ولكن يستمر دورها بعد ذلك في كل ما يعلق بالمسار ومستقبله من صيانة وإدارة ومتابعة. بل إن هذه النظم قد تكون وسيلة مناسبة لرعاة وحصر ورصد المعلومات التنفيرة وللؤثرة على المسار مع مرور الوقت وذلك مثل أسباب انهيارات الطرق وعدم كفايتها وغير ذلك كثير. أيضاً قد تستخدم هذه النظم للربط بين مواقع محددة على المسار وبين أسباب تكرار ظاهرة معينة كالحوادث أو الانهيارات من خلال رصد تلك الأحداث ورصد الأحوال الجوية والأمطار وحركة الشاحنات ونوعية التربة والجيولوجيا وغيرها من المتغيرات التي قد تكون سبباً لتكرار الحوادث أو الانهيارات ومن ثم الادلاء بالمساعدة في إيجاد مقترحات وحيل تسهم في رفع كفاءة الطريق وأدائه والتقليل من مخاطره وتكلفته. حيث أن مثل هذه المعلومات ورصدها وملاحظتها لمدة كافية من الزمن تؤدي إلى تحليل منطقي بين أسباب مشاكل المسارات.

ويمكن القول مثل ذلك عن تكرار الحوادث المرورية على المسارات والتي تدخل مشكلة كبرى في البلدان العربية. فيعد رصد تلك الحوادث لمدة كافية ورصد لتفسيات التي تحصل أثناء الحادث من سرعة وزمن ومعلومات اجتماعية عن السائق ومعلومات تنتمية عن الطريق ومعلومات مرورية وغيرها يمكن دراسة وفحص هذه المعطيات عن طريق دمج ومن ثم تحديد للمشكلة بدقة في بعديها الزمني والمكاني ثم الإدلاء بالحلول الاقتصادية الممكنة لحل للمشكلة.

REFERENCES

المراجع

- 1- Allen ,C. F . , Railroad Curves And Earthwork , McGraw – Hill Book Company , 1959 .
- 2- American Association of State Highway officials . “ A policy on Geometric Design of Highways and Streets “ , Washington , D.C., 1984 .
- 3- American Association of State Highway Officials . “ A policy on Geometric Design of Rural High Ways “ , American Association of State Highway officials , Washington , 1965 .
- 4- American Railway Engineering Association , “ Manual for Railway Engineering “ , Chicago, 1978 .
- 5- American Society of photogrammetry “ Manual of photogrammetry” , 4th ed . , Chester C. Slama , Editor – in – Chief , American Society of photogrammetry , Falls Church , VA : 1980 .
- 6- American Society of photogrammetry . “ Manual of Remote Sensing “ , Volumes I and II , 2nd ed . , Robert N . Colwell , Editor – in- Chief , American Society of photogrammetry , Falls Church , VA : 1983 .
- 7- Anderson , J.M . , And Edward M.M . , “ Introduction to Surveying “ , Singapore : McGraw – Hill Book Co . 1985 .
- 8- Ashford , N.J . , and paul H. Wright . “ Airport Engineering” , John Wiley and Sons , New York , 1979 .
- 9- Avery , Thomas Eugene . “ Interpretation of Aerial photographs “ , 3 rd ed . , Burgess Publishing Company , Minneapolis , Minnesota , 1977 .

- 10- Baker , R . F . , " Hand Book of Highway Engineering " Van Nostrand Reinhold Company , 1975 .
- 11- Barry , F.K . , " Surveying With Construction Applications " , Prentice Hall Inc . 1997 .
- 12- Bouford , G . . , " Geodesy " , 4 th ed . , Clarendon Press , Oxford , 1980 .
- 13- Breed , Charles B . and Hosmer , G. L . , " Elementary Surveying " , Vol . 1, 11 th ed . , John Wiley and Sons , New York , 1977 .
- 14- Brinker , C.B . , Elfick , M.H . , Fryer , J.G . , and Wolf , P.R . , " Elementary Surveying " , Seventh Edition , Melbourne , 1987 .
- 15- Brinker , R.C . , and Minnick , R . . , " The Surveying Handbook " , Von Nostrand Reinhold Company , New York , 1987 .
- 16- Clark , D . , " Plane and Geodetic Surveying for Engineers , Volume 1 , Plane Surveying , 6 th ed . Constable , London , 1972
- 17- Davis , R.E . , ed . , " Surveying , " Theory and practice " 7 th . ed . , McGraw – Hill Book Co . , Inc . , New York , 1997 .
- 18- Ewing , C. E . and Mitchell , M.M . , " Introduction to Geodesy " , 3 rd . Printing , Elsevier publishing Company , Inc . , New York , 1976 .
- 19- Garner , J. B . , James , D . and Bird , R. G . , " Surveying " The Estates Gazette Ltd . , London , 1976 .
- 20- Hickerson , T.F . , " Route Location and Design " , 5 th . ed . , Mc Graw – Hill Book Company , New York , 1967 .

- 21- Higgins , A.L . , “ Elementary Surveying “ , 3 rd . ed . , Longmans , London , 1971 .
- 22- Kennic , T.J.M . , and Petric , G. , “ Engineering Surveying Technology “ , Blackie , London , 1989 .
- 23- Kissam , P . , “ Surveying Practice “ , 3 rd ed . , Mc Graw-Hill Book Company , Inc . , New York , 1978 .
- 24- Mc Cormac , J.C . , “ Surveying “ , 3 rd ed . , Prentice Hall , Inc . , Englewood Cliffs , New Jersey , 1995 .
- 25- Meyer , C.F . , and D. W . , Gibson , “ Route Surveying and Design , 5 th ed . , Harper and Row , publishers , 1980 .
- 26- Mezera , David F . , “ Geodetic Surveying : The Next Decade “ , Journal of The Surveying and Mapping Division , American Society of Civil Engineers , Vol . 105 , SUI (November 1979) .
- 27- Mikhail , E.M . , and Gracie , G . , “ Analysis and Adjustment of Survey Measurements , “ Van Nostrand Reinhold , New York , 1981 .
- 28- Moffitt , Francis H. , and Edward M . Mikhail . “ Photogrammetry “ , 3 rd ed . , Harper and Row Publishers , New York , 1980 .
- 29- Moffitt , F. H. and Harry Bouchard , “ Surveying “ , 7 th ed . Harper and Row , Publishers , Inc . , New York , 1982 .
- 30- Oglesby , C. H . , and R. G . h . , “ Highway Engineering “ , 4 th . ed . , John Wiley and Sons , New York , 1982 .

- 31- Papacette , R . J . , Norman J.A. and Paul H.R. , “
Transportation Engineering – Planning and Design , 2 nd ed . ,
John Wiley and Sons , New York , 1982 .
- 32- Royer , K . , “ Applied Field Surveying “ , John Wiley And
Sons . , New York , 1979 .
- 33- Schmidt , M.O . , and Kam W . Wong , “ Fundamentals of
Surveying “ , 3 rd ed . , PWS Publishers , 1985 .
- 34- Siyam , Y.M . , “ Application of photogrammetry to
Highway Design and Maintenance “ , M.Sc . Thesis , LTC
 , The Netherland , 1974 .
- 35- Smith , J.R . , “ Basic Geodesy “ , Landmark Enterprises ,
Rancho Cordova , 1988 .
- 36- Szentesi , A. , “ Surveying Measurements “ , Hungarian
Optical Works , Buda pest , 1974 .
- 37- William Irvine . “ Surveying For Construction “ , 4 th . ed . ,
McGraw – Hill Book Company Europe , Berkshire ,
SL62QL , England , 1995 .
- 38- Wilson , R.J.P. , “ Land Surveying , Macdonald and Evans
Ltd . , London , 1971 .
- 39- Wirshing , J.R. , 4 Roy H . , “ Introductory Surveying “ ,
McGraw – Hill Book Company , 1985 .
- 40- wolf , Paul R. , “ Elements of photogrammetry “ , McGraw –
Hill Book Company , New York , 1986 .
- 41- Wood , K . “ Highway Engineering Handbook “ , McGraw
– Hill , Inc . , 1960 .
- 42- Wright , P.H. , and Radnor J.P. , “ Highway Engineering , 5
th . ed . , John Wiley and Sons , New York , 1987 .

43- Zaylen , L . and Oudaly , P.J . , " Introduction to Field Survey Entomology , IIC , 1972 .

44- حسن يولائي " الجوزيا " منشورات جامعة حلب ، كلية الهندسة المدنية ،
جامعة حلب ، ١٩٩٦ .

45- سليم جزماتي " الأعمال السلعية في الطرق " ، مديرية الكف والمطهرات
الجلية ، جامعة حلب ، حلب ، ١٩٩٠ .

46- سمير مصطفى " مبادئ السلعة " ، منشورات جامعة دمشق ، دمشق ، ١٩٩٥
47- عبد الكريم توما " السلعة السحرية والطبوغرافية " ، جامعة بتلا ، بتلا ،
١٩٧٧ .

48- علي شكري ، مصود صني ، ومصدر رشيد مصطفى " السلعة التصويرية"
مشتة المعارف ، الإسكندرية ، ١٩٨١ .

49- علي شكري ، ومصود صني " السلعة التصويرية " ، مشتة المعارف ،
الإسكندرية ، ١٩٧٨ .

50- يوسف مصطفى صيلم " السلعة وتنظيم المنحنيات " ، مكتبة العروبة ،
عمان ، ١٩٧٨ م .

51- يوسف مصطفى صيلم " أصول في السلعة " ، مكتبة العروبة ، عمان ،
١٩٨٣ م .

52- يوسف مصطفى صيلم " مسلحة المسارات " ، مكتبة العروبة ، عمان ،
١٩٩٢ م .

53- يوسف مصطفى صيلم " السلعة الجوية " ، مكتبة العروبة ، عمان ،
١٩٩٤ م .

54- يوسف مصطفى صيلم " السلعة بالأجهزة الإلكترونية " مكتبة العروبة ،
عمان ، ١٩٩٧ م .

REFERENCES

المراجع

- 1- Allen ,C. F . , Railroad Curves And Earthwork , McGraw – Hill Book Company , 1959 .
- 2- American Association of State Highway officials . “ A policy on Geometric Design of Highways and Streets “ , Washington , D.C., 1984 .
- 3- American Association of State Highway Officials . “ A policy on Geometric Design of Rural High Ways “ , American Association of State Highway officials , Washington , 1965 .
- 4- American Railway Engineering Association , “ Manual for Railway Engineering “ , Chicago, 1978 .
- 5- American Society of photogrammetry “ Manual of photogrammetry” , 4th ed . , Chester C. Slama , Editor – in – Chief , American Society of photogrammetry , Falls Church , VA : 1980 .
- 6- American Society of photogrammetry . “ Manual of Remote Sensing “ , Volumes I and II , 2nd ed . , Robert N . Colwel , Editor – in – Chief , American Society of photogrammetry , Falls Church , VA : 1983 .
- 7- Anderson , J.M . , And Edward M.M . , “ Introduction to Surveying “ , Singapore : McGraw – Hill Book Co . 1985 .
- 8- Ashford , N.J . , and paul H . Wright . “ Airport Engineering” , John Wiley and Sons , New York , 1979 .
- 9- Avery , Thomas Eugene . “ Interpretation of Aerial photographs “ , 3 rd ed . , Burgess Publishing Company , Minneapolis , Minnesota , 1977 .

- 10- Baker , R . F . , “ Hand Book of Highway Engineering “
Van Nostrand Reinhold Company , 1975 .
- 11- Barry , F.K . , “ Surveying With Construction Applications
“, Prentice Hall Inc . 1997 .
- 12- Bomford , G . , “ Geodesy “ , 4 th ed . , Clarendon Press ,
Oxford , 1980 .
- 13- Breed , Charles B . and Hosmer , G. L . ,” Elementary
Surveying “ , Vol . 1, 11 th ed . , John Wiley and Sons ,
New York , 1977 .
- 14- Brinker , C.B . , Elfick , M.H . , Fryer , J.G . , and Wolf , P.R . ,
“ Elementary Surveying “ , Seventh Edition , Melbourne ,
1987 .
- 15- Brinker , R.C . , and Minnick , R . , “ The Surveying
Handbook “ , Von Nostrand Reinhold Company , New
York , 1987 .
- 16- Clark , D . , “ Plane and Geodetic Surveying for Engineers ,
Volume 1 , Plane Surveying , 6 th ed . Constate , London ,
1972
- 17- Davis , R.E . et . al , “ Surveying , “ Theory and practice “
7 th . ed . , McGraw – Hill Book Co . , Inc . , New York ,
1997 .
- 18- Ewing , C. E . and Mitchell , M.M . , “ Introduction to
Geodesy “ , 3 rd . Printing , Eisevier publishing Company ,
Inc . , New York , 1976 .
- 19- Garner , J . B . , James , D . and Bird , R . G . , “ Surveying “
The Estates Gazette Ltd . , London , 1976 .
- 20- Hickerson , T.F . , “ Route Location and Design “ , 5 th . ed
., Mc Graw – Hill Book Company , New York , 1967 .

- 21- Higgins , A.L . , " Elementary Surveying " , 3 rd . ed . , Longmans , London , 1971 .
- 22- Kassic , T.J.M . , and Petric , G. , " Engineering Surveying Technology " , Blackie , London , 1989 .
- 23- Kresan , P . , " Surveying Practice " , 3 rd ed . , Mc Graw-Hill Book Company , Inc . , New York , 1978 .
- 24- Mc Cormac , J.C . , " Surveying " , 3 rd ed . , Prentice Hall , Inc . , Englewood Cliffs , New Jersey , 1995 .
- 25- Meyer , C.F . , and D. W . , Gishon , " Route Surveying and Design , 5 th ed . , Harper and Row , publishers , 1980 .
- 26- Mezzera , David F . , " Geodetic Surveying : The Next Decade " , Journal of The Surveying and Mapping Division , American Society of Civil Engineers , Vol . 105 , SUI (November 1979) .
- 27- Mikhail , E.M . , and Gracie , G . , " Analysis and Adjustment of Survey Measurements , " Van Nostrand Reinhold , New York , 1981 .
- 28- Moffitt , Francis H. , and Edward M . Mikhail . " Photogrammetry " , 3 rd ed . , Harper and Row Publishers , New York , 1980 .
- 29- Moffitt , F. H. and Harry Bouchard , " Surveying " , 7 th ed . Harper and Row , Publishers , Inc . , New York , 1982 .
- 30- Oglesby , C. H . , and R. G . h . , " Highway Engineering " , 4 th . ed . , John Wiley and Sons , New York , 1982 .

- 31- Paquette , R . J . , Norman J.A. and Paul H.R . , " Transportation Engineering – Planning and Design , 2 nd ed . , John Wiley and Sons , New York , 1982 .
- 32- Royer , K . , " Applied Field Surveying " , John Wiley And Sons . , New York , 1979 .
- 33- Schmidt , M.O . , and Kam W . Wong , " Fundamentals of Surveying " , 3 rd ed . , PWS Publishers , 1985 .
- 34- Siyam , Y.M . , " Application of photogrammetry to Highway Design and Maintenance " , M.Sc . Thesis , LTC , The Netherland , 1974 .
- 35- Smith , J.R . , " Basic Geodesy " , Landmark Enterprises , Rancho Cordova , 1988 .
- 36- Szentesi , A. , " Surveying Measurements " , Hungarian Optical Works , Buda pest , 1974 .
- 37- William Irvine . " Surveying For Construction " , 4 th . ed . , McGraw – Hill Book Company Europe , Berkshire , SL62QL , England , 1995 .
- 38- Wilson , R.J.P . , " Land Surveying , Macdonald and Evans Ltd . , London , 1971 .
- 39- Wirshing , J.R . , 4 Roy H . , " Introductory Surveying " , McGraw – Hill Book Company , 1985 .
- 40- wolf , Paul R. , " Elements of photogrammetry " , McGraw – Hill Book Company , New York , 1986 .
- 41- Wood , K . " Highway Engineering Handbook " , McGraw – Hill , Inc . , 1960 .
- 42- Wright , P.H . , and Radnor J.P . , " Highway Engineering , 5 th . ed . , John Wiley and Sons , New York , 1987 .

43- Zuylen , L . and Oxtoby , P.J. , " Introduction to Field Survey Enschede , ITC , 1972 .

44- حسن بيلاني " الجيوديزيا " منشورات جامعة حلب ، كلية الهندسة المدنية ، جامعة حلب ، ١٩٩٦ .

45- سامح جزماتي " الأعمال المساحية في الطرق " ، مديرية الكتب والمطبوعات الجامعة ، جامعة حلب ، حلب ، ١٩٩٠ .

46- سميح صافية " مبادئ المساحة " ، منشورات جامعة دمشق ، دمشق ، ١٩٩٥

47- عبد الكريم توما " المساحة الممنوية والطوبوغرافية " ، جامعة بغداد ، بغداد ، ١٩٧٧ .

48- علي شكري ، محمود حسني ، ومحمد رشاد مصطفى " المساحة التصويرية " منشأة المعارف ، الإسكندرية ، ١٩٨١ .

49- علي شكري ، ومحمود حسني " المساحة التصويرية " ، منشأة المعارف ، الإسكندرية ، ١٩٧٨ .

50- يوسف مصطفى صيام " المساحة وتخطيط المنحنيات " ، مكتبة العروبة ، عمان ، ١٩٧٨م .

51- يوسف مصطفى صيام " أصول في المساحة " ، مكتبة العروبة ، عمان ، ١٩٨٣م

52- يوسف مصطفى صيام " مساحة المسارات " ، مكتبة العروبة ، عمان ، ١٩٩٢م .

53- يوسف مصطفى صيام " المساحة الجوية " ، مكتبة العروبة ، عمان ، ١٩٩٤م .

54- يوسف مصطفى صيام " المساحة بالأجهزة الإلكترونية " مكتبة العروبة ، عمان ، ١٩٩٧م .



Dar Majdalawi Pub. & Dis.

Amman 11118 - Jordan

P.O.Box: 184257

Tel Fax: 4611606

دار مجدلاوي

دار مجدلاوي للنشر والتوزيع

عمّان - الرمز البريدي: ١١١١٨ - الأردن

ص.ب.: ١٨٤٢٥٧ - تليفاكس: ٤٦١١٦٠٦

ISBN 9957-02-027-7